



**Simuler pour connaître / Connaître pour simuler.
Réflexions sur la Représentation, la Modélisation, la
Simulation et la Création avec l'Ordinateur**

Claude Cadoz

► **To cite this version:**

Claude Cadoz. Simuler pour connaître / Connaître pour simuler. Réflexions sur la Représentation, la Modélisation, la Simulation et la Création avec l'Ordinateur. Colloque Modèles physiques, 1990, Grenoble, France. pp.663-707. hal-01022518

HAL Id: hal-01022518

<https://hal.science/hal-01022518>

Submitted on 10 Jul 2014

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Simuler pour connaître / Connaître pour simuler

Réflexions sur la Représentation, la Modélisation, la Simulation et la Création avec l'Ordinateur

C. CADOZ
ACROE

Modèle Physique est un mot passe-partout comme il s'en crée beaucoup aujourd'hui, sous la poussée de diverses nécessités qui n'ont pas toujours à voir avec celles de la science et de la connaissance. Il faut leur reconnaître une vertu toutefois : ils peuvent jouer comme appel, appel par exemple à un colloque ou plus généralement à une réflexion sur un thème spécifique. Nous en avons usé et, nous semble-t-il, avec un résultat positif.

La nécessité de clarifier ou de fonder les concepts qu'ils pointent, ou qu'ils masquent d'ailleurs, n'en est pas secondaire pour autant. Au delà des techniques, des méthodes, des applications, il y a des enjeux. Pas seulement des enjeux directs, matériels et économiques comme on est obligé de penser automatiquement aujourd'hui quand on prononce ce terme. Des enjeux plus fondamentaux qui concernent la compréhension de l'homme par lui-même, la compréhension, au-delà des résultats (ou des faillites) matériels, par exemple de l'informatique, de ce qu'elle vient faire sur cette planète.

La création artistique tente de s'approprier l'informatique ; il n'est pas évident que là où il peut encore subsister autre chose que l'asservissement, épistémologiquement stérile et culturellement auto-décadent, de l'"offre et de la demande", ce ne soit pas l'informatique qui se soit saisie de la création artistique, avec des résultats où voisinent les illuminations pionnières et les vanités les plus affligeantes.

Il est important de laisser à certains moments le discours technique, les astuces, les prouesses et les performances technologiques un peu en retrait pour considérer, quitte à revenir à des considérations naïves, ce qui est au fond en cause.

Dans ce texte, nous voulons poser des questions, peut-être simples, mais de fond, sur la représentation, ses processus, ses conditions. Nous tentons de comprendre ce qu'est la simulation à l'aide de l'ordinateur, ce qu'elle traduit de permanent dans les méthodes et que l'on retrouve dans nos démarches et nos moyens actuels, et ce que ces derniers apportent qui n'est pas réductible au précédent.

Nous essayerons de préciser ce qu'il faut comprendre du modèle physique, ce qu'il apporte et ce qu'il ne résoud pas. Et enfin, par un parallèle entre l'artiste et le scientifique, nous essayerons de montrer, profitant du thème de la simulation, en quoi ils sont à la fois profondément identiques et profondément différents.

Première partie - La Représentation

I. De l'expérience sensible à la représentation

1. L'expérience directe du monde physique
2. Connaître - Créer
3. Conditions de la représentation

II. Economie de la représentation

1. Réduction de substance - Le Symbole primitif
2. Réduction d'attributs - la naissance de la Forme
3. L'abstraction

III. Systèmes et Langages

1. Catégorisation - Discrétisation
2. Systèmes de représentation
3. Langages - Coupure ontologique

Deuxième partie - Le Modèle Physique - La Simulation

I. Du Phénomène au Modèle

1. Expérience scientifique
2. Modèles Phénoménologique / Fonctionnel / Structurel
3. Le Modèle Physique

II. Le retour au Phénomène : la Simulation

1. Qu'est-ce que simuler ?
2. Simulation Phénoménologique / Fonctionnelle / Structurale
3. Du Modèle au Phénomène

Troisième partie - Simuler pour connaître

I. La simulation du physicien

II. Une Physique Algorithmique

III. La simulation de l'artiste

PREMIERE PARTIE LA REPRESENTATION

I - DE L'EXPERIENCE SENSIBLE À LA REPRÉSENTATION

1 - L'expérience directe du monde physique

Nous sommes au quotidien dans un monde d'êtres et d'objets avec ou à propos desquels nous pensons, agissons, percevons. Nos relations, collaborations, conflits, élaborations, transformations, mettent en jeu tous ces êtres et toutes ces choses, et au quotidien, nous ne doutons pas, à chaque respiration, qu'ils existent ou qu'ils sont ce qu'ils sont.

Or, cette évidence, support de nos états et de nos actes de tous les instants est fragile et il suffit d'une circonstance un peu particulière, d'une fièvre un peu forte par exemple pour que les choses nous paraissent différentes de ce qu'elles sont habituellement. Etre et paraître se dissocient et du même coup l'immanence et l'évidence se divisent : les êtres et les choses se dérobent et nous laissent avec notre seule conscience : conscience de ce qu'il y a nos sensations, nos actions,... notre conscience.

Notre état et nos actions jouent sur notre perception et nos sensations, les êtres et les choses sont ce que nous les faisons. Toutefois, une autre conscience nous apparaît en même temps : celle de certaines permanences de nos perceptions malgré la variation de nos actions ou inversement de variations de nos perceptions malgré la permanence de nos actions. Ainsi devons nous réviser à nouveau notre position et considérer qu'il y a d'une part nous-mêmes et notre conscience, nos moyens d'action et de perception, d'autre part l'extérieur de nous mêmes, doté d'une existence et d'une autonomie indépendantes de nous. De ce monde extérieur nous n'avons alors qu'une *connaissance*, dépendante de ce que nous sommes...

La philosophie dans son entier se pose depuis l'Antiquité les questions de la nature de la conscience, de la relation du sujet aux phénomènes, au réel, au monde, aux autres sujets, aux objets etc. On pourrait s'attarder sur les différents points de vue, les différentes *métaphysiques* et leurs évolutions depuis les pythagoriciens, Platon, Aristote, jusqu'à Kant, Hegel, Merleau-Ponty et "L'idée de la phénoménologie" husserlienne¹...

¹ Voir par exemple :

Aristote, "La Métaphysique", trad. J. Tricot, Paris, 1953

G.W.F. Hegel, "Phénoménologie de l'Esprit", trad. J. Hyppolite, Paris, 1939-1941

E. Husserl, "Idées directrices pour une Phénoménologie", trad. P. Ricoeur, Paris 1950

E. Kant, "Critique de la raison pure", trad. A. Trémesaygues et B. Pacaud, réed. Paris 1965

M. Merleau-Ponty, "Phénoménologie de la perception", Paris 1945

Ce serait long et difficile et pas nécessairement utile pour notre présent propos, mais il faut toutefois tenter d'explicitier les notions primitives sur lesquelles repose le développement que nous allons faire ici.

On pose qu'il y a d'une part un monde subjectif, celui qui se trouve du côté de notre conscience, d'autre part en vis-à-vis de celui-ci, un monde objectif. Nous adoptons alors, sans prétendre pouvoir sortir aussi facilement des définitions bouclées, mais en raison de ses vertus heuristiques, le point de vue général caractérisé par les quelques énoncés suivants :

- Le sujet associe à la conscience des moyens de *perception*, les sens, et des moyens d'*action*.

- Ce qui se manifeste à nos sens et ce que produisent nos actions sont des *phénomènes* et sont les *media* exclusifs entre le monde objectif et le monde subjectif. Nous admettons comme premières formes de notre perception et de notre action celles du temps et de l'espace, formes a priori de notre conscience, que nous projetons comme formes premières des phénomènes, existant donc dans le *temps* et dans l'*espace*.

- Le monde objectif transcende les phénomènes : il est toujours susceptible d'être la source de phénomènes non perçus antérieurement, et sa substance se distingue a priori des phénomènes dont il est la source.

- En corollaire du dualisme sujet/objet, nous admettons la possibilité d'un pluralisme des objets, c'est-à-dire le fait que des phénomènes spécifiques puissent être associés, terme à terme à des objets spécifiques ; mais la transcendance du monde objectif par rapport au phénomène perçu interdit de considérer comme définitive toute hypothèse de multiplicité d'objets dans une situation particulière (comme dans la situation générale).

- De la même façon et pour les mêmes raisons, nous envisageons la multiplicité du sujet et l'existence d'autres consciences susceptibles d'être affectées par les phénomènes du monde objectif. Dans l'impossibilité de considérer cependant une véritable correspondance entre les états de notre conscience et ceux de la conscience des autres sujets, cette position nous conduit à envisager les autres sujets au moins comme des entités du monde objectif et par là même à nous considérer nous aussi comme partie prenante d'un tout, objectif pour d'autres sujets, et d'un tout global : le monde, ou l'univers tout court.

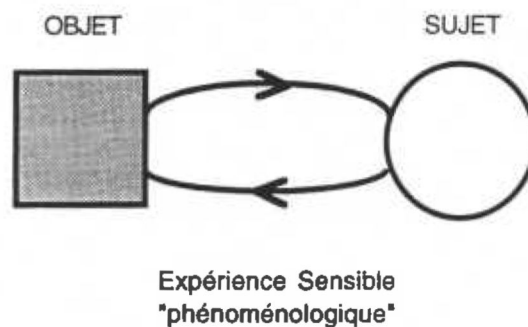
- En conséquence également de ces derniers faits et en corollaire du statut de média des phénomènes entre les objets et les sujets, nous posons la notion de phénomène comme média entre les objets eux-mêmes d'une part, et entre les sujets eux-mêmes d'autre part. Ceci conduit à considérer alors qu'il y a des phénomènes auxquels nous sommes sensibles (nous dirons *phénomènes sensibles*) ou que nous provoquons (*phénomènes émis*) et des phénomènes auxquels nous ne sommes pas sensibles ainsi que des phénomènes que nous ne pouvons pas produire. Les phénomènes que nous pouvons produire sont en général également des phénomènes sensibles ; la réciproque n'est pas vraie.

- Enfin, si les objets transcendent les phénomènes, les phénomènes sont néanmoins des objets en eux-mêmes ; limites en ce qu'ils sont leurs propres phénomènes, mais objets en tant qu'ils se situent en vis-à-vis du sujet.

Objet et Connaissance phénoménologique directe

Ainsi parlerons - nous d'objets, mais un objet, c'est d'une part une entité dont nous supposons la substance mais dont nous ne disposons que par sa phénoménologie : un ensemble d'actions, de perceptions et de relations entre les deux, obtenues au cours de l'expérience sensible (en fait sensori-motrice), et constituant la connaissance phénoménologique directe que nous en avons à un instant donné.

Cette position particulière de la connaissance phénoménologique par rapport à la substance ultime postulée de l'objet et de l'univers dans son entier leur confère ce que nous appellerons tout au long de ce texte un caractère ontologique infini ; entendons nous bien, ce ne sont pas les objets ou l'univers qui sont infinis, nous ne pouvons justement rien affirmer de définitif sur cette question, mais notre connaissance qui est finie. Il faut comprendre le mot infini comme dans la formulation astucieuse des mathématiciens : quelle que soit notre connaissance, aussi profonde soit-elle, il existe un au-delà à cette connaissance... à la petite différence près que nous devons plutôt dire : quelle que soit notre connaissance..., il peut exister un au-delà à cette connaissance, mais nous n'avons pas plus de certitude sur son existence que sur sa nature ni d'ailleurs que sur son inexistence.



2 - Connaître - Créer ; nécessité de la représentation

Survivre est la première préoccupation du vivant, mais si elle était la seule, il n'y aurait pas d'évolution et à la limite il n'y aurait pas de vivant car le vivant est déjà une évolution. En fait, créer, se créer est la première préoccupation de ce qui existe, c'est-à-dire de l'univers entier, même si la condition nécessaire à cela est de survivre. Il n'est pas plus illégitime de chercher une adaptation non anthropocentrique de ces mots aux organismes ou aux processus physiques les plus élémentaires, que de tenter d'expliquer le vivant, les sentiments, les aspirations humaines par les propriétés observées au niveau de ces mécanismes et processus matériels élémentaires. Il n'y a là non plus rien de téléologique car entre survivre et tendre vers un but prédéterminé, il y a un immense espace. C'est précisément celui de l'invention, de la création.

Pour créer donc, autant que pour survivre, l'homme cherche à s'adapter à son environnement, mais aussi à le et à se transformer et dans toutes les circonstances, à se servir du passé pour comprendre le présent et anticiper sur le futur. Prévoir est la première fonction de la connaissance et la première condition de la création. C'est donc selon cette fonction, pour revenir à notre propos, que l'on peut tout d'abord considérer les vertus de l'expérience directe et de la connaissance phénoménologique.

Limites de la connaissance phénoménologique directe

La réédition des mêmes perceptions, lorsqu'elle est consécutive à celle des mêmes actions conduit à l'idée de la permanence de l'objet, permanence du passé au présent. Alors apparaît une possibilité de prévoir : prévoir que si l'on applique à nouveau les mêmes conduites, on obtiendra les mêmes comportements. Cette prévision repose sur un postulat fondamental : celui du prolongement de la permanence de l'objet du présent au futur.

La connaissance phénoménologique directe a donc une vertu de prévisibilité. Toutefois, cette vertu est très limitée. En effet, rien ne nous permet d'anticiper sur ce que sera le comportement de l'objet si nous envisageons par exemple de lui appliquer une conduite inédite. Pour prévoir toutes les possibilités, il nous faudrait les essayer toutes, ce qui n'est pas de la prévision mais de la vision tout court.

C'est le besoin de savoir sans devoir ou sans pouvoir essayer qui nous fait dire que nous sommes en quête de connaissances d'une autre nature.

La représentation

Prévoir ne peut pourtant se faire sans voir, la connaissance suppose la présence, aussi sommes nous dans une contradiction essentielle : il nous faut l'objet alors même que nous ne voulons ou ne pouvons l'avoir. Il nous faut sa présence en son absence. De cette contradiction, il n'est pas véritablement possible de sortir, aussi en guise de présence nous adopterons un autre objet auquel nous prêterons les mêmes attributs. Nous appelons cela le *re-présenter*. La représentation est cette démarche universelle qui lie deux entités, le représenté et le représentant, et où l'on substitue les conduites appliquées au premier par des conduites appliquées au second... pour le meilleur et pour le pire.

3 - Conditions de la représentation

Postulation

Quelle que soit la façon dont on se procure le substitut, le processus de la représentation est soumis aux mêmes conditions : en premier lieu un lien doit être établi entre le représenté et le représentant. Ce *lien de représentation* ne peut se constituer que par la confrontation de deux expérimentations phénoménologiques directes effectives, respectivement sur l'un et sur l'autre. Ceci suppose en particulier que l'objet à représenter ne soit pas complètement et définitivement inaccessible ou absent. Mais comme par essence, l'expérimentation phénoménologique est finie, il y a en second lieu la nécessité d'une postulation : celle que le lien de représentation se prolonge au delà de ce qui est expérimenté.

Ce n'est que sous couvert de cette *postulation*, généralisation de celle que l'on a déjà rencontrée plus haut, que l'on pourra en expérimentant de nouvelles situations avec le substitut, prétendre que l'original se comporterait de la même manière.

Il est évident dès ce premier stade que la représentation absolue ne peut être, puisque si nous considérons deux objets c'est que nous savons les distinguer, donc qu'il y a d'emblée une différence dans les connaissances phénoménologiques que nous en avons. Par ailleurs, bien que nous ayons éliminé le problème insoluble de l'identité de deux objets puisqu'il ne

s'agit que de confronter les expériences, les actions, les perceptions et la perception des actions, nous n'avons pas tout résolu pour autant car le problème s'est déplacé : qu'est-ce que l'identité de deux perceptions ?

Représentation mentale et représentation matérielle

En fait, dès la discussion sur la connaissance phénoménologique directe se posent déjà des problèmes implicites : un phénomène se développe dans le temps ; pour en avoir une sensation, il faut que l'on puisse rassembler en une seule unité tous les instants de ce développement, que ce qui est passé puisse être encore présent, en d'autres termes *représenté*. La représentation était donc déjà présente.

Qu'il s'agisse alors de nos moyens de perception, de ce qui nous permet d'unifier en un seul présent des événements ou les parties d'un événement étalés ou distincts dans le temps et dans l'espace, de les confronter, de les identifier ou de les discriminer, tout cela, qui constitue nos *facultés cognitives*, nécessairement supportées par la matérialité de notre cerveau, est déjà un monde de représentations.

Ainsi, devons nous dire que la connaissance phénoménologique suppose elle-même une représentation : une *représentation mentale*. Aux éléments de cette représentation nous commençons à savoir associer aujourd'hui des objets, des éléments et des fonctions biologiques, mais ce ne sont là que des représentations à nouveau.

Ainsi, est-ce la représentation qui est première. Mais tout semble alors tourner en rond et à nouveau nous ne savons plus où sont les choses, en nous ou à l'extérieur de nous. Le monde objectif et le monde subjectif sont comme deux miroirs face à face, capables de multiplier leur image à l'infini, et le point de départ nous fait défaut. Nous sommes en train de parler de représentations de nos représentations sans pouvoir assigner d'origine à ce cercle.

Devant ce vertige, nous n'avons plus qu'à nous accrocher solidement à un postulat primordial : celui que nous existons et que les choses existent. Ce point étant acquis, il nous reste à laisser jouer ce processus non pas comme un cercle vicieux, mais comme une spirale auto-poïétique, c'est-à-dire dans laquelle c'est précisément par le passage d'une représentation à une autre, et en particulier des représentations mentales aux représentations matérielles que s'opère le processus de création.

Pour en revenir alors à l'identification de deux perceptions, nous ne pouvons la présenter autrement, comme ce sera le cas d'un certain nombre d'autres aspects de nos facultés cognitives, qu'a priori : étant donné deux représentations mentales, nous avons le pouvoir de décréter qu'elles sont identiques, c'est-à-dire de décréter, malgré une différence nécessairement connaissable si l'on veut continuer de parler de deux entités, qu'elles peuvent valoir intégralement l'une pour l'autre. Il est assez vain de chercher qui ou quoi, à l'intérieur de nous, quelle que soit la forme de représentation que l'on puisse se donner du cerveau lui-même, détient ce pouvoir ultime de décret. Il n'y a pas de réelle solution à ce problème et prétendre qu'il s'agit d'un déterminisme régi par des lois matérielles n'en est pas une dans la mesure où ce que nous appelons *déterminisme* et *matériel* découle déjà en soit d'un certain nombre de représentations pour lesquelles nous faisons appel aux notions d'association, d'identification, de différenciation ...

Mais un tel absolu au départ n'est pas nécessaire.

La seule représentation absolue d'un objet, nous l'avons déjà dit, ne peut être que cet objet lui-même puisque si nous disposons de deux objets, il existe au moins cette différence phénoménologique entre eux qui nous permet de les distinguer.

Mais il y a plus grave. La représentation contient un principe de division, c'est-à-dire, plus loin que l'idée de la multiplicité, celle de l'indépendance des objets, puisqu'elle a besoin de cette indépendance au moins entre deux objets particuliers : le représenté et le représentant. Or, rien ne nous permet non plus jamais d'affirmer, lorsque nous avons dessiné le contour d'un objet pour le mettre en représentation, que ce contour, lié à notre expérience phénoménologique, est définitif. Une expérimentation ultérieure peut nous révéler l'influence de parties jusque là ignorées.

Cette question prend d'ailleurs un sens aigu alors que la Théorie du Chaos nous apprend que des événements, des phénomènes, ou des "objets" extrêmement éloignés dans le temps ou dans l'espace, ou extrêmement infimes peuvent avoir une incidence considérable sur le déroulement de certains processus présents et locaux. C'est la fameuse image maintenant bien connue de l'"effet papillon", introduite à la suite des travaux de Lorenz, en météorologie, dans les années 60, pour évoquer l'extrême sensibilité de certains processus à de très faibles perturbations, et qui explique que le déplacement d'air provoqué par le battement d'aile d'un papillon aujourd'hui à Pékin peut se transformer en tempête le mois prochain à New York. Ce que nous avons regardé comme objet à un moment doit alors peut-être intégrer, dans un nouveau contour, d'autres éléments jugés jusque là indépendants. Inversement d'ailleurs, dans un contour déjà circonscrit, l'effet peut se manifester, le papillon peut déjà être... dans la pomme. Nous ne pouvons, compte tenu non pas de la présence systématique de tels effets, mais seulement de leur éventualité, ni vérifiable ni rejetable a priori, jamais considérer que nous avons effectué un découpage définitivement légitime. Par ailleurs, l'effet papillon a son dual : certains processus, peuvent nous interdire l'accès à ce qui fut avant ou ailleurs dans la mesure où leur état, présent et ici, est irréductiblement déterminé par des *attracteurs* absolument indépendants de ces conditions initiales ou extrinsèques.

Mais le papillon l'emporte, et son effet est double sur notre conception cartésienne du monde, il la bouleverse de deux façons : au premier ordre, lorsqu'il se manifeste effectivement et nous met réellement devant un processus chaotique ; au second ordre, en ce qu'il nous force à considérer l'éventualité permanente de son existence. Il ouvre alors une brèche définitive : tous les objets et tous les phénomènes de l'univers sont susceptibles de se révéler en interaction les uns avec les autres.

Bien que bouleversante, en nous montrant que des processus simples et déterministes peuvent demeurer imprévisibles, la Théorie du Chaos ne doit pas cependant nous faire oublier que les objets peuvent aussi résister à notre connaissance parce qu'ils sont complexes. En d'autres termes, l'effet papillon ajoute une dimension au caractère ontologique infini des objets en ce que des phénomènes extrêmement ténus, infimes, au plus profond de l'objet ou au plus loin de l'univers peuvent être sensibles, ici, au présent.

Quoi qu'il en soit, le résultat est que le seul objet véritablement isolable est l'univers lui-même, et qu'en fin de compte, la seule représentation absolue ne peut être que celle de l'univers dans son entier,... par lui-même.

Il nous faut tout de même représenter des objets plus petits avec des objets plus petits distincts des premiers. Pour le meilleur et pour le pire, avons nous déjà dit. Le meilleur, c'est quand la correspondance demeure a posteriori, le pire, c'est quand la divergence s'installe. Dans la mesure où nous représentons malgré l'impossibilité de la représentation absolue, tout représentant recèlera d'une manière ou d'une autre, révélée ou non, une différence avec son représenté. Des propriétés appartiendront à l'un et non à l'autre et réciproquement sans que nous puissions toujours le savoir a priori. En fait, le représentant n'est pas le représenté. Une manière d'échapper à cette triste condition est de considérer que la représentation est un processus toujours en cours, toujours en cause et à remettre en cause... et il est une tentation à combattre, la plus commune et la plus universelle depuis probablement les premières lueurs de la pensée humaine, celle de confondre abusivement le représentant et le représenté, de prendre l'image pour l'idole, d'oublier, quand on parle des propriétés et des comportements de nos représentations, qu'il ne s'agit que de ceux de nos représentations...

C'est un certain parcours du processus de la représentation que nous allons essayer d'aborder maintenant.

II - ECONOMIE DE LA REPRÉSENTATION

La seule représentation absolue d'un objet est cet objet lui-même. Cela ne nous avance pas beaucoup puisque nous voulons pouvoir nous passer de lui. Toutefois on peut présenter les choses autrement et considérer la représentation de l'objet par lui-même comme un point de départ, un "degré zéro" de la représentation. Sous postulation de sa permanence, c'est-à-dire de son identité avec lui-même à travers le temps et à condition que nos actes à son égard ne le détruisent ou ne le transforment pas, il est représentation de lui-même pour le futur (ainsi que pour le passé d'ailleurs).

Nous avons déjà décrit les limites de cette situation, passons sans détours aux stades suivants.

Le stade immédiatement suivant, le "degré un", c'est le premier où nous pourrions nous passer matériellement de l'original. Imaginons alors, sans nous soucier de ce qu'il faut faire pour cela, que nous soyons en présence de deux objets, nos perceptions et les perceptions de nos actions à leur égard se correspondant terme à terme. Il y a là toutes les conditions pour faire jouer à l'un le rôle de représentant de l'autre, le choix de la victime est d'ailleurs indifférent puisque selon notre expérience, ils sont "identiques". Ce choix arrêté, postulant que l'identité phénoménologique se prolongera, on pourra prédire ce qui se passerait sur l'un, en son absence cette fois, en expérimentant sur l'autre. Cependant l'intérêt reste limité car les expériences sont aussi engageantes matériellement sur le représentant que sur le représenté.

Prévoir, c'est voir en l'absence, quand la mise en présence ne peut être que future, mais c'est aussi voir, dans l'ici, le maintenant et dans les limites du champ de conscience ce qui nécessite un temps et un espace plus grands, ce qui s'étend plus tard et plus loin, et du même coup ce qui commence plus tôt. C'est demander en fait au substitut de représentation une autre propriété fondamentale et paradoxale : celle d'être identique à l'objet tout en étant moins encombrant que lui, spatialement, temporellement, celle d'impliquer une dépense, un

engagement moindre de la part du sujet. De nouvelles conditions sont nécessaires, concernant aussi bien les représentations matérielles que mentales : il faut une *économie de la représentation*.

1 - Réduction de substance - Le Symbole primitif

Ici comme précédemment, les raisonnements que l'on peut faire au sujet des substituts de représentation matériels doivent pouvoir s'appliquer aux substituts de représentation mentaux, en prenant garde, puisque le mental est aussi matériel, à ce que pour le problème des uns, on ne présuppose pas la solution dans les autres.

L'économie matérielle peut se poser d'une première manière simple : étant donné un "double" comme celui que nous avons plus haut, il faudrait, pour faire une économie, pouvoir décomposer cet objet en parties et ne considérer que l'une d'elles en lieu et place du tout. On peut simplifier encore en sautant pour l'instant la phase du double et en cherchant à décomposer l'original, supposé accessible. La question est alors : comment et dans quelles conditions ce découpage peut-il se faire et comment la partie peut-elle valoir pour le tout ? On ne peut y répondre sans recourir, précisément, au même processus que précédemment lorsqu'il s'agissait d'identifier deux objets, c'est-à-dire d'une part en mettant en jeu le vis-à-vis représentation matérielle / représentation mentale, d'autre part en faisant intervenir à la base une faculté a priori.

On est proche ici de la notion de *symbole* dans son sens étymologique grec qui dérive du verbe "joindre" et définit un objet partagé en deux, la possession de chacune des deux parties par deux individus différents leur permettant de se rejoindre et de se reconnaître. Mais dans cette métaphore, de nombreux présupposés sont implicites, et en particulier ce qui permet effectivement de déclarer que les morceaux se rejoignent suppose l'intervention d'actes et de représentations mentales à nouveau.

En fait, dans le processus de perception, il y a déjà une économie, celle qui nous permet de contenir dans le volume de notre boîte crânienne, le monde et l'espace à l'intérieur desquels elle se trouve elle-même. Cette économie procède du principe même du symbole précédent, qui s'établit tout simplement... entre *l'objet* et le *phénomène sensible*. Ramené au niveau des représentations mentales maintenant, ce principe peut s'appliquer à nouveau. C'est l'ensemble des connaissances phénoménologiques relatives à un objet qui subit un découpage. On décrète alors qu'une certaine partie vaut pour le tout ce qui signifie que c'est elle qui opère et que l'on se passe effectivement du reste, mais que l'on peut toujours, si nécessaire, effectuer le recollage et vérifier la coïncidence. Les facultés a priori sont celles de l'association, de la dissociation, de l'identification à nouveau et de la discrimination.

Ce mécanisme élémentaire est en fait extrêmement fondamental et d'un recours systématique. La vue d'un objet simple suffit parfois à évoquer des objets, des êtres, des scènes, des sentiments, des situations antérieures complexes. Cet objet fut alors probablement partie d'un tout perçu globalement dans une première expérience. La réédition des perceptions relatives à la partie qu'il constitue vaut, par "recollage" avec le tout de la perception antérieure, pour cette situation antérieure.

Il est bien évident que toutes les réserves et conditions relatives à la *postulation* se propagent ici.

Cette forme de réduction est toutefois radicale ; les deux morceaux du symbole se partagent la substance du tout. Comment peuvent-ils être représentatifs de son intégrité ? Ne peut-on trouver un substitut d'encombrement moindre, tel que l'identité et l'intégrité demeurent simultanément ? Toute la complexité du mécanisme de la représentation et de son économie est dans les stratégies pour répondre à cette question. Il faudrait... l'histoire entière de la représentation pour en donner une représentation. Nous allons dans ce qui suit, seulement donner quelques "modèles" possibles sur quelques aspects complémentaires, en espérant qu'ils auront une vertu d'"explication" un peu au delà d'eux-mêmes.

2 - Réduction d'attributs - la naissance de la Forme

Nous ne coupons pas, si l'on peut dire, au découpage puisque pour être moins encombrant, il faut enlever des parties.

Au niveau des représentations mentales, nous avons déjà mis en avant une faculté d'identifier malgré une certaine différence. Il y a là en soi une forme de découpage, entre ce qui s'identifie et ce qui ne s'identifie pas. Ce découpage, s'il est probablement substantiel au niveau de la matérialité des supports de notre représentation mentale, ne correspond pas nécessairement à un découpage substantiel des objets extérieurs en cause.

Par le jeu même de cette différence, apparaît une troisième forme de découpage : entre la substance et des *attributs*. Deux phénomènes, et par leur intermédiaire deux objets, peuvent alors être différents sauf par un attribut, ou inversement identiques sauf par un attribut.

Nous allons considérer respectivement, à partir de deux types d'attributs fondamentaux, deux étapes essentielles de l'économie de représentation

Réduction spatiale et temporelle

En fait, la notion d'encombrement, au noeud du problème depuis le début de ce chapitre, est une notion primitive apparaissant dès l'introduction des catégories a priori du temps et de l'espace. Parmi les attributs des objets, il y a leur encombrement, leur taille temporelle et spatiale, dont nous pouvons avoir une connaissance phénoménologique. On peut dire les choses en sens inverse : notre représentation mentale possède les catégories a priori du temps et de l'espace qu'elle projette sur les objets, ce faisant, elle leur confère une taille temporelle et spatiale. Ainsi pouvons nous lier ou dissocier des phénomènes, et par leur intermédiaire des objets, différents sauf par leur taille ou, inversement identiques sauf par leur taille.

Avec la notion de taille (spatio-temporelle), peut être introduit un premier état de celle de *forme* : la forme est ce qu'il y a d'identique entre deux phénomènes dont seules les étendues spatio-temporelles diffèrent. La faculté que nous évoquons ici est alors celle d'identifier des phénomènes par leur forme, indépendamment de leur taille.

Alors, un objet, identifiable à un autre objet par la forme phénoménologique, peut être candidat au poste de représentant économique de cet objet.

Le processus de représentation comporte toujours ses phases essentielles : dans la première s'établit la confrontation purement phénoménologique respectant toutefois la différence de taille, ainsi que la permanence de cette différence. C'est l'établissement de la *similitude*. La seconde, fondée sur la postulation, inclut une évolution sensible de celle-ci : à celle du prolongement de l'identité phénoménologique au delà de l'expérience effectuée, s'ajoute celle de la validité du rapport de similitude au delà de ce qui est établi.

Une certaine coupure d'avec le monde objectif vient de s'opérer. Si dans l'univers tous les objets sont possibles, ainsi que toutes les tailles sous similitude de comportement, il est une entité qui ne peut trouver son semblable sous taille réduite, c'est l'univers lui-même. Ceci suffit pour dire que, de même que la seule représentation absolue est celle de l'univers entier par lui-même, si les phénomènes peuvent se ressembler en dépit de leur taille nous ne pouvons être garantis que par sa seule dimension, un phénomène n'a pas une singularité absolue. Par la réduction de taille, le substitut de représentation acquiert des vertus d'économie nouvelles mais dans le même temps l'existence d'un tel mode de représentation marque un premier pas vers l'abstraction : le changement d'échelle abstrait l'objet de son environnement en séparant les relations de tailles intrinsèque à l'objet des relations de taille valant de l'objet à ceux qui l'environnent ou sont susceptibles de l'environner. Et si le sujet a la faculté de concevoir une identité des phénomènes relatifs à l'objet malgré leur différence de taille, il n'en est pas nécessairement de même pour l'environnement, pour qui la différence de taille peut demeurer une condition de différence absolue.

L'objet ainsi réduit est condamné à n'interagir qu'avec le sujet ou éventuellement avec d'autres objets ayant subi la même réduction.

Homéomorphies trans-modales et spatio-temporelles

Parmi les conditions de nos représentations mentales, il y a celles qui résultent du partage opéré par nos modalités sensorielles sur ce qu'elles délimitent par ailleurs comme étant le domaine des phénomènes sensibles. Dédutibles des catégories a priori du temps et de l'espace, elle introduisent dans ce partage même à nouveau une certaine nature de dualisme : si des phénomènes sont visibles, d'autres audibles, palpables etc., nous avons une faculté, malgré cette différence, d'en saisir certaines correspondances. Nous pouvons identifier des perceptions relatives à des modalités sensorielles différentes.

Plus loin, mais de manière essentiellement corrélée, une certaine correspondance peut aussi s'établir entre le développement spatial et le développement temporel des phénomènes.

La faculté d'identifier des perceptions (ou des actions) sous différence de taille se prolonge donc par celle d'effectuer cette relation entre modalités sensorielles et, plus loin, entre formes spatiales et formes temporelles : on peut identifier des formes gestuelles et des formes visuelles, des formes acoustiques, gestuelles, un mouvement visible etc, à une forme visuelle spatiale ... La forme demeurant ce qui est invariant au delà de tout ce qui diffèrent par les attributs.

L'homéomorphie trans-modale et l'homéomorphie spatio-temporelle, en tant que manifestations de nos facultés cognitives, nous permettent d'abstraire d'un degré fondamental nos représentations de leur environnement réel. Le substitut peut alors se matérialiser d'un certain nombre de façons très différentes.

3 - L'abstraction

La réunion, pour un objet donné, de tous les substituts possibles répondant seulement au critère d'identité de forme des phénomènes malgré des différences spatio/temporelles, modale, ou de taille constitue une *abstraction* de cet objet.

L'abstraction, c'est ce qui reste lorsque l'on a considéré pour un objet donné, un certain ensemble de substituts qui lui correspondent par homéomorphie trans-modale et spatio-temporelle, quand on a tout traduit en relations et que seules les relations absolues de l'entité au monde réel sont indéfinies.

L'abstraction n'est pas un objet, ni une représentation mentale particulière mais une classe d'objets, non limitée, susceptibles d'être chacun en vis-à-vis avec une représentation mentale. La conscience de l'unité, dans l'abstraction, peut cependant conduire à penser qu'il existe une certaine unité dans les moyens matériels de la représentation mentale au delà des catégories spatiales, temporelles et modales.

L'abstraction n'est pas un objet, mais pour la manipuler, nous empruntons l'un de ses équivalents concrets, mieux, plusieurs à tour de rôle, en fonction des circonstances.

III - SYSTÈMES ET LANGAGES

Nous nous sommes évertués jusque là à substituer un objet à un autre en considérant ces deux protagonistes comme seuls sur la scène où se joue cette représentation. Nous avons maintenant épuisé leurs ressources et nous ne pourrions aller beaucoup plus loin en restant dans une situation aussi confinée. Pour gagner, ou plutôt pour économiser d'avantage, il nous faut prendre du recul et penser que nous n'allons pas, de toute notre existence, nous contenter de représenter un objet unique et nous enfermer dans une relation idyllique et éternelle avec le substitut de notre choix.

Les objets sont multiples, les relations également et la représentation est un processus dynamique. Aussi, une forme d'économie peut être envisagée, non pas seulement intrinsèquement, dans la réalisation d'une représentation, mais d'une manière délocalisée, distribuée, dans le processus de représentation en général, dans sa dynamique.

1. Catégorisation - Discrétisation

Dans cette nouvelle perspective, une façon radicale d'économiser apparaît : c'est d'utiliser le même représentant pour plusieurs représentés différents, et plus généralement d'utiliser un petit nombre de substituts distincts pour un grand nombre d'objets différents.

C'est la démarche essentielle de la *catégorisation*. La catégorisation consiste, au stade même de la confrontation phénoménologique initiale, à identifier au même substitut non pas un objet, mais une certaine diversité d'objets, qui fondent alors la *catégorie*. Nous n'avons besoin pour cela d'aucunes autres facultés que celles qui ont déjà été invoquées, mais il y a cependant une spécificité à la démarche de catégorisation : alors qu'une expérience peut dénoncer l'identité ou la similitude précédemment établies entre un objet et son substitut et conduire à reconsidérer la légitimité de celui-ci, dans la catégorisation, le décret d'identité, pour raison d'économie, peut être volontairement maintenu malgré le constat éventuel d'une différence.

Cette nuance mise à part, on retrouve naturellement les mêmes problèmes que dans toutes les démarches précédentes. La catégorisation a aussi son revers. Que ce soit par décret ou parce que nous ne savons faire autrement, en identifiant deux objets, nous risquons toujours de manquer la réalité qui se trouve précisément dans leur différence.

La catégorisation est, elle aussi, un procédé basique dans toute la démarche de la représentation. Nous l'introduisons ici au moment de considérer les objets dans leurs relations plutôt que dans leur nature intrinsèque. Mais avant de franchir plus définitivement ce pas, soulignons cet aspect dual de la catégorisation qu'est la *discrétisation*.

La discrétisation est l'application de la catégorisation à l'intérieur même de l'objet considéré en lui-même comme un microcosme constitué de "sous-objets" multiples. Dit autrement, catégorisation et discrétisation sont les mêmes démarches appliquées respectivement au tout en tant qu'ensemble d'objets en relation et à l'objet en tant qu'ensemble de sous-objets en relation. Dans les deux cas, l'économie réalisée se fonde sur le même principe.

En toute rigueur, pour introduire correctement la discrétisation, comme pour la catégorisation, il nous faut bien évidemment ne parler que des phénomènes, puisque la substance définitive des objets (et des sous-objets) nous échappe. Les phénomènes, dès lors qu'ils peuvent se décomposer peuvent être considérés comme ensembles de constituants entre lesquels on peut procéder, comme entre les objets d'une même catégorie. Une économie de représentation est alors possible si l'on utilise un substitut tel que les phénomènes qui lui sont associés ne sont constitués que d'un seul représentant pour chacun des éléments de décomposition que l'on peut identifier. La discrétisation, comme la catégorisation, sont d'abord phénoménologiques, mais on a déjà vu, plus haut, de quelle manière les découpages, associations, identifications, discriminations mentales peuvent se reporter au niveau matériel.

La catégorisation et la discrétisation sont des démarches très universelles. Elles peuvent être pratiquées très consciemment, mais aussi très systématiquement par les moyens naturels et élémentaires de représentation que sont nos sens et nos systèmes perceptuels, sans que nous puissions d'ailleurs décider ou modifier quoi que ce soit.

2. Systèmes de représentation

Utiliser un petit nombre d'éléments pour représenter un grand nombre d'objets différents est un principe d'économie évident. Dans la mise en oeuvre de ce principe que nous venons de décrire, il y a toutefois une limite à son intérêt car une fois catégorisé, le vaste monde entre certes dans un espace raisonnable, mais il perd du même coup sa diversité. La variété des objets avec lesquels nous pouvons entrer en relation n'est ni plus ni moins que celle des catégories que nous avons constituées.

Une mise en oeuvre plus élaborée de ce principe consiste à tenter de créer des objets d'une grande variété à partir d'un petit nombre d'objets de base. Il faut alors faire entrer en ligne de compte la *structure* c'est-à-dire considérer explicitement le fait qu'un objet peut être constitué d'un ensemble de sous-objets liés entre eux. Si pour un ensemble de sous-objets donnés des relations entre eux peuvent s'établir de façons différentes alors il est possible que le nombre d'objets composites différents dépasse de loin celui des objets de base. Il faut pour cela que les objets en question et leurs relations remplissent certaines conditions. Nous n'avons pas assez d'éléments pour les préciser maintenant, mais à supposer qu'elles le soient et que les objets composites puissent être investis d'un rôle de représentation, alors, avec les objets élémentaires et leurs possibilités d'assemblage, nous disposons non plus d'un substitut de représentation, mais d'un *système de représentation*.

Il faudrait préciser ici un grand nombre de choses pour montrer dans quelles conditions un système de représentation peut se constituer. Cela alourdirait par trop notre exposé alors que nous voulons seulement pointer ici le fait qu'il y a, dans l'idée même du système de représentation, cet objectif et ce moyen d'une "amplification" réelle entre le nombre d'éléments utilisés et la variété potentielle de l'univers représenté.

L'idée du système peut s'étendre, en quelque sorte "exponentiellement". En fait, les systèmes sont imbriqués, les représentations sont des représentations de représentations, non seulement en miroir, mais poupées russes, et en combinaison des deux... Nous n'avons, dans ce déjà long parcours, qu'effleuré la surface des racines.

3. Langages - Coupure ontologique

Avec les systèmes de représentation puis, rétroactivement, les précédentes latitudes introduites depuis le "degré zéro" de la représentation : le symbole, la réduction de taille, l'abstraction, la catégorisation, ... toutes combinables, nous disposons de moyens de créer, de nous créer des représentations ; des représentations pour notre propre compte, en tant que sujet qui parcourt le temps et l'espace, mais aussi des représentations pour *notre* propre compte en tant que sujet multiple qui parcourt l'histoire, l'évolution, la culture... Ces représentations diverses nous constituent autant qu'elles nous permettent de constituer, elles sont la mémoire autant qu'elle l'utilise : mémoire matérielle, mémoire mentale, représentations matérielles, représentations mentales...

En fait, si le dipôle mental-matériel a un sens pour le sujet individu, il en a un encore plus fort pour le dipôle individu-collectif, car l'une des fonctions de la représentation matérielle est précisément la communication, c'est-à-dire la participation à la représentation et à la création dans sa dimension foncièrement collective et historique, celle qui dépasse l'individu de deux manières : par rapport à son enveloppe corporelle et son espace propre et par rapport à sa durée de vie propre. Les représentations matérielles sont l'équivalent de la mémoire et de la représentation mentales pour le sujet humain collectif. Le sujet humain collectif est constitué de tous les sujets individuels, de leurs mémoires et représentations mentales, ainsi que de tous les objets de représentation, vecteurs entre les individus du même présent et entre les générations.

A l'échelle de l'individu, ou plutôt des individus, l'enjeu de la représentation (connaître), s'étend alors à celui de la communication (faire connaître). Réciproquement, la communication est la condition par laquelle un nouvel ordre de la représentation, de la connaissance et de la création est possible : celui qui correspond au sujet humain collectif.

Au moment de la communication, plus encore qu'à celui de la représentation pour/par le sujet isolé, l'impossibilité d'échapper aux postulations a une importance. En fait, nous aimerions à ce niveau plus qu'aux précédents, garantir qu'aucun comportement imprévu de nos objets de représentation ne viendra occulter ou se substituer insidieusement à ce que nous voulons faire connaître. Par ailleurs, dans sa réalité matérielle, la communication, comme tout processus de représentation est soumise à une condition majeure : elle est constituée d'actes qui, comme l'individu, sont localisés et temporels, ont un lieu, un début, une fin, sont frappés de finitude. Nos actes communicationnels sont de même nature que nos expériences sensibles du monde : ils passent par des phénomènes sensibles qui se développent dans des espaces et des durées finies. Ainsi, quel que soit l'objet de représentation que nous utilisons, pour communiquer avec nous mêmes ou avec les autres, même si cet objet, de fait nous transcende, possède comme nous avons dit au début un "caractère ontologique infini", la connaissance phénoménologique que nous en avons au moment présent est nécessairement finie.

Pour ces raisons, nous aimerions disposer d'objets d'un caractère spécial, tels que nous soyons certains qu'ils ne manifesteront absolument aucun autre comportement que ceux que nous connaissons. Il nous faudrait des objets "finis". Ces objets nous permettraient par ailleurs de régler une autre question : nous pourrions définitivement affranchir le substitut dans son rôle de représentation et prétendre que ce que nous n'arrivons pas à connaître (a fortiori à communiquer), ce qui nous échappe, est dans l'objet original et non dans sa représentation.

Mais comment peut-on se doter d'objets dont la finitude est garantie ? A vrai dire, il n'y a pas de solution. Ces objets n'existent pas. A nouveau, nous avons recours à un stratagème, fondé sur une utilisation à rebours de la catégorisation. Ce qui constitue l'original, le point de départ, cette fois, est non pas l'objet, transcendant notre expérience, mais l'expérience elle-même, la connaissance phénoménologique, par essence finie. Nous cherchons alors, pour cette connaissance, tous les objets possibles qui peuvent s'identifier avec cette référence et qui conviendront, selon les circonstances, à l'usage qu'on en veut faire. Si, par mésaventure, l'un de ces objets occasionnels s'avise de s'écarter du rôle assigné, révèle et met en jeu un comportement qui ne correspondant pas aux phénomènes prédéfinis, nous l'éliminons *catégoriquement* et en prenons un autre.

Ainsi croyons nous avoir inventé les "objets finis".

Le moyen le plus élaboré dont nous disposions jusque là pour constituer des représentations était le *système de représentation*. Il faut alors souligner que le problème que l'on vient d'évoquer y était présent. En effet les composants du système de représentation sont jusque là des objets du monde réel tout autant que nos premiers substituts. De ce fait, ils transmettent, comme par épidémie, leur caractère ontologique infini à l'objet composite lui-même. La "substance" de l'objet qui représente, dans cette situation, tient à la fois à sa structure, que nous pouvons maîtriser puisque nous agençons les composants, et à la nature des composants eux-mêmes, que nous ne maîtrisons que pour ce que nous en connaissons. Ainsi, la nécessité de recourir à des "objets finis" vaut-elle également pour les composants d'un système de représentation si nous avons à son égard les dernières exigences énoncées au-dessus.

Là se trouvent la fonction, la nécessité, la définition du *langage*.

C'est le sens premier que nous donnerons ici au mot *langage* en l'attachant aux systèmes de représentation dont les composants sont *finis* (nous ne disons pas en nombre fini) ceci afin de bien les distinguer parmi les systèmes de représentation en général et parce qu'il s'agit d'une propriété réellement fondamentale.

Le langage ultime serait le langage binaire de l'informatique. Les objets élémentaires qui y sont en cause ne nous intéressent que dans la mesure où au niveau le plus abstrait, puisque personne n'a jamais vu un électron autrement qu'au travers de médiations très sophistiquées, ils se comportent seulement selon deux possibilités qui s'excluent mutuellement. Leur "substance" plus intime, là où siègent d'autres comportements possibles ne nous intéresse pas, n'existe pas, au point que si elle s'avise d'intervenir, nous avons tôt fait d'appeler cela une panne et de jeter le composant coupable. Mais les systèmes électroniques ne sont pas les premiers du genre. Nos systèmes d'écriture, depuis au moins 6000 ans sont exactement de même nature et de la lettre au mot, les composants sont bel et bien de ces "objets finis". Si une lettre est mal formée, au moment d'écrire nous la recommençons, au moment de lire nous cherchons à savoir, en nous fiant à celles qui l'environnent, de laquelle dans l'alphabet il peut bien s'agir.

Coupure ontologique

Avec un langage, au moment réel de son utilisation, le nombre effectif de ses composants est fini, ainsi que celui de leurs possibilités de combinaison. En effet, même si, dans sa définition la base présente des possibilités d'extension infinies, la constitution ou l'appropriation de ses composants pour une réalisation effective passe par un ensemble d'actes réels, donc finis. Au temps présent, toutes les bases effectives de langage sont finies. Ainsi, même si leur variété peut être très grande, les objets de représentation élaborés à l'aide d'un langage constituent un univers "borné vers le haut", c'est-à-dire de complexité finie.

Avec un langage, par définition les objets élémentaires ne peuvent révéler isolément aucun comportement intrinsèque inconnu au préalable. La construction des représentations part ainsi d'un niveau en dessous duquel rien n'existe, ou en tout cas rien n'est reconnu. Les propriétés des objets construits tiennent exclusivement à la structure des combinaisons, au jeu des interactions et à la nature, entièrement connue, des composants de base.

Dans le langage binaire de l'informatique, ces derniers sont tellement élémentaires et leurs propriétés réduites à une telle simplicité (auto-référente : être l'élément "0" c'est exclusivement ne pas être l'élément "1" et réciproquement), que les propriétés des objets construits émergent exclusivement de la structure. Les objets informatiques reposent sur un "tapis de "0" et de "1"" en dessous duquel il y a le vide absolu. Les objets de représentation élaborés à l'aide d'un langage constituent un univers "borné vers le bas", ils perdent les racines profondes qui confèrent au objets réels ce que nous appelions leur "caractère ontologique infini".

Les propriétés des objets, des représentations que nous créons avec un langage, même variés au point que nous ne saurions toutes les explorer, seront néanmoins entièrement comprises, déduites, conséquences de ce qui se place entre ces deux bornes.

Ainsi, autant le langage, selon la définition très générale que nous adoptons là, est un aboutissement dans la démarche de représentation, autant il consacre une coupure ontologique entre le monde réel et nos représentations.

Mais nous voulons le beurre et l'argent du beurre, c'est-à-dire que nous voudrions à la fois bénéficier de cette efficacité et de cette économie de représentation/communication et à la fois y inclure tout l'univers. Nous voulons l'infini et le fini en même temps. Il n'y a pas d'issue immédiate à cette contradiction, c'est pourquoi avons nous déjà dit, la représentation dans son ensemble, prise comme un tout, ne peut être conçue que comme un processus en cours ; le processus en cours, et si nous pouvons dire où nous sommes et dans quelle direction nous souhaitons aller, l'objectif est, jusqu'à preuve du contraire à l'infini tandis que notre vitesse est limitée. Autant dire que nous en avons encore pour un bon moment.

DEUXIEME PARTIE

LE MODÈLE PHYSIQUE - LA SIMULATION

Nous allons maintenant changer d'échelle afin de pouvoir nous poster, plus loin, à un lieu charnière pour la représentation. Les physiciens, plus généralement les scientifiques, et les artistes, par exemple les musiciens, sont naturellement très engagés dans les dédales de la représentation, mais leurs objectifs et leurs parcours sont très différents ; leurs stratégies sont parfois radicalement contradictoires. Or il existe des points singuliers où, par la force des choses ils se rencontrent. L'ordinateur et la simulation constituent aujourd'hui l'un de ces points paradoxaux où coexistent, entre artistes et scientifiques, des proximités intimes et d'irréductibles distances. C'est au voisinage de cette singularité que nous souhaitons conduire la suite de ce parcours.

Nous partons du point de vue du physicien. Précisons toutefois que le physicien auquel nous pensons, même si nous n'évoquons pas explicitement ses expériences, n'est pas celui des particules élémentaires, de la mécanique quantique, de l'astro-physique,... mais, à une échelle plus humaine, le physicien du perceptible.

I - DU PHÉNOMÈNE AU MODÈLE

1 - Expérience scientifique

Instruments d'observation

La première particularité de l'approche du scientifique est qu'avant même de se donner des représentations élaborées, il cherche à élargir le champ de sa connaissance phénoménologique, à étendre son expérience directe au delà des phénomènes sensibles. Mais comment connaître le non sensible alors qu'il n'est de connaissance que par nos actes et nos perceptions ? Percevoir ce qui n'est pas perceptible, agir sur ce qui n'est pas accessible, ce ne peut être qu'en le rendant accessible et perceptible et il ne peut s'agir encore une fois que d'une... représentation. En fait, nos moyens sensoriels sont déjà des moyens de représentation, ce sont eux qui déterminent ce qui est sensible et ce qui ne l'est pas et qui produisent des représentations intermédiaires à l'usage des couches plus profondes de notre monde mental. A ces moyens de représentation innés et internes, qui pourraient être observés dans leur matérialité, le scientifique ajoute, en symétrique, des moyens, tout aussi matériels et observables eux-mêmes, des sens externes en quelque sorte, des *instruments d'observation*.

Les instruments d'observation, sont des dispositifs matériels qui réalisent "spontanément" un processus de représentation. Nous n'avons jusque là envisagé la représentation que comme processus engageant une démarche humaine. En fait, on peut invoquer un processus de représentation à propos d'un dispositif entièrement matériel et objectif. Il faut que ce dispositif réalise une association entre deux phénomènes distincts. Ce qui est "spontané", c'est alors cette association, résultant d'une dépendance inhérente à la constitution objective du dispositif. Par contre, l'affectation à un tel dispositif (existant naturellement ou construit spécialement), de la fonction de dispositif matériel de représentation, et par exemple d'instrument d'observation, reste une décision entièrement humaine, conditionnée par la problématique fondamentale de postulation : Il faut une phase initiale où des phénomènes interdépendants, tous deux sensibles, sont décrétés respectivement représenté et représentant et il faut ensuite postuler que si le phénomène représenté disparaît du champ sensible, le phénomène représentant continue d'en être dépendant de la même façon.

Mesure, Relevé phénoménologique

Partant d'une expérience phénoménologique étendue, la démarche scientifique se donne ensuite toutes les garanties pour la légitimité et l'efficacité de ses représentations. Elle a recours naturellement à l'économie, aux réductions, à l'abstraction, ... mais aussi et surtout aux langages et en particulier aux mathématiques. Plus loin, elle intègre le principe même de l'évolution et de la remise en cause de ses représentations. Apparaît alors sa seconde particularité : celle de vouloir disposer d'une forme préliminaire de représentation objective aussi près que possible du phénomène, qui n'hypothèque sur aucune voie de représentation ultérieure a priori mais à partir de laquelle toutes soient possibles. Cette représentation objective minimale, c'est la *mesure*.

Le fondement de la mesure est le nombre. La mesure est la substitution au phénomène, en étroite collaboration avec le processus d'observation précédent, dont l'intervention peut se situer de multiples manières, d'un ensemble de nombres. On pourrait s'en tenir à cette déclaration triviale, pour laisser ensuite parler les mathématiques et leurs diverses façons d'organiser, caractériser, décrire, transformer, mettre en relation les ensembles, de nombres en particulier...

Malheureusement, la notion sur laquelle tout repose alors - le *nombre* - bien qu'extrêmement commune, n'est absolument pas immédiate. Déterminer de quelle manière elle découle des considérations générales sur la représentation n'est pas simple. Le nombre est assurément un substitut de représentation, mais il n'est pas matériel. Il est une abstraction au sens où pour exister de manière sensible, il aura besoin d'une matérialisation en des "objets supports" variés. Pour le définir dans son essence, on peut toujours recourir aux axiomes de Peano par exemple, qui posent l'ensemble des nombres entiers et du même coup leurs propriétés et possibilités d'utilisations. Mais il manque un lien avec les objets et les phénomènes qui sont devant nous. Ce lien ne peut se définir qu'en étroite corrélation avec la notion de catégorisation / discrétisation.

Il faudrait ici un développement difficile dans lequel nous n'allons pas nous aventurer. En guise d'échappatoire, nous dirons que le nombre est ce qui reste quand on a catégorisé et que l'on oublie tout des catégories sauf leur existence.

Par contre, il est important de souligner maintenant que l'ensemble des nombres constitue un système de représentation, en ce qu'avec un même nombre d'éléments, un grand nombre de phénomènes peuvent être représentés. Mais c'est surtout un *langage*, au sens que nous avons donné ici à ce mot : lors de l'association d'un phénomène à un ensemble de nombres, c'est-à-dire au moment même de la mesure, la "coupure ontologique" est consommée par ce que nous ne disposons plus du phénomène, et par conséquent de l'objet, qu'au travers d'un ensemble fini d'"objets finis".

Laissons pour l'instant ces remarques en l'état et avant de poursuivre, ajoutons cet ingrédient utile à la mesure : De même que l'on a pu introduire des dispositifs d'observation qui établissent matériellement et "spontanément", à l'usage du physicien, une représentation sensible de phénomènes qui ne le sont pas, on peut ajouter ici, pour compléter la panoplie, des dispositifs qui permettent, tout aussi matériellement et spontanément de donner des correspondances visuelles (spatiales) à des phénomènes temporels. Exploitant nos facultés d'identification trans-modales et spatio-temporelles, ils introduisent toutes ces formes de représentations annexes, graphiques et autres, satellites de la mesure, que nous désignerons rapidement sous le terme de *relevés phénoménologiques*.

Modélisation

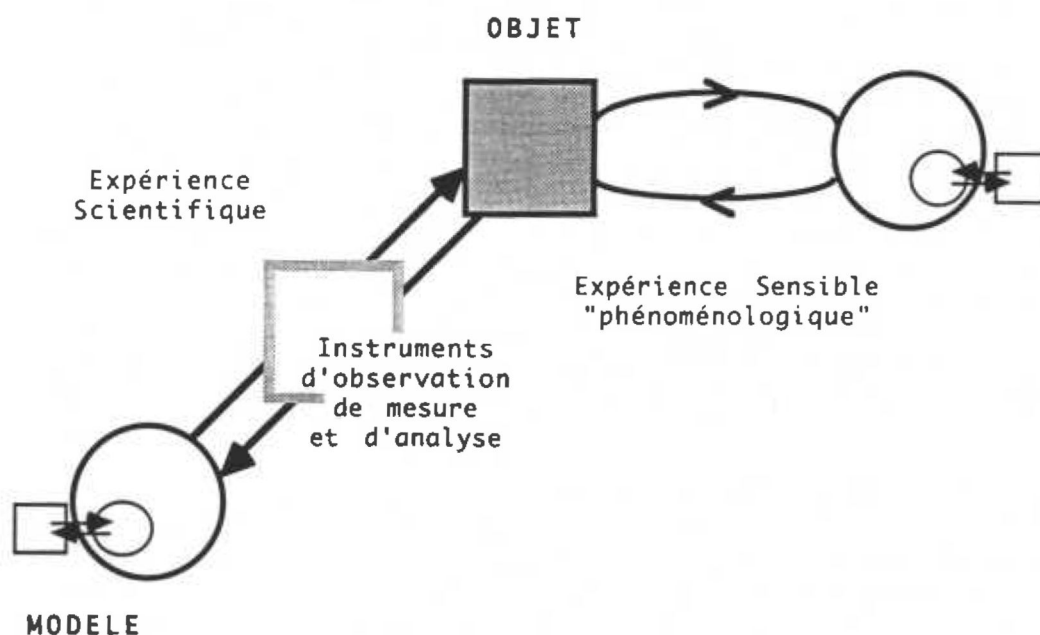
Dans la démarche du physicien, donc, le domaine phénoménologique direct est médiatisé par une première forme de représentation que l'on pourrait appeler *représentation phénoménologique*, dont la base fondamentale est le nombre. Une de ses principales vertus, payée au prix de la coupure ontologique est la *permanence objective*, au sens de permanence d'un objet, hors du sujet, et par conséquent sa "communicabilité" qui fait que les stades ultérieurs de représentation pourront être abordés par de multiples expérimentateurs. Toutes les représentations consécutives sont alors soumises à ce passage obligé et la confrontation

sensori-motrice primitive entre l'objet et son substitut fait place à celle des représentations phénoménologiques et des mesures. En conséquence, les représentations du physicien se construisent dans l'univers du nombre, avec le langage des mathématiques.

Les mathématiques constituent un univers qui se suffit à lui-même, si toutefois on peut admettre qu'un univers peut exister, dont les objets n'ont ni forme ni couleur ni rien qui puisse se manifester à nos sens. A ceux qui sont tentés de placer l'univers des mathématiques au dessus, au delà, en deçà ... de toutes choses, et en particulier comme définitivement libéré du matériel et du sensible, il convient de rappeler que sans la communication et sans le support physique de ses signes et de ses symboles, sans la poudre de craie sur la peinture noire du tableau, sans la trace de graphite ou d'encre sur la feuille... ils n'auraient jamais eu le premier soupçon de leur possibilité.

Il faudrait maintenant, pour les mathématiques, comme plus haut pour le nombre, les situer en tant que représentation. La tâche est encore plus difficile et nous n'allons pas nous risquer à réduire en quelques maladroites ce que mathématiciens, philosophes, logiciens s'attachent à développer depuis plusieurs siècles.

Pour ne pas entrer trop loin dans la complexité de la relation des Mathématiques et de la Physique, bornons nous à ce qui est essentiel à notre propos en considérant que les mathématiques sont pour le physicien un langage pour construire des représentations, langage se développant d'ailleurs souvent sous les nécessités de ce qu'il faut représenter. Ces représentations, le physicien les appelle des *modèles* ; en lieu et place de représentation, substitut de représentation, il parle de *modélisation* et de *modèle mathématique*. Ce qui est alors fondamental, c'est qu'en tant que langage, bien qu'elles sachent parler de l'infini, les mathématiques achèvent la coupure commencée avec la mesure.



Il faut bien évidemment que les vertus modélisatrices d'un tel moyen de génération soient établies, c'est-à-dire qu'il y ait identité entre les données phénoménologiques initiales et celles qu'il produit. Les lois, opérations, fonctions, systèmes de fonctions mathématiques qui réalisent cette génération constituent en substance le *modèle mathématique*. L'ensemble des lois de la physique, les équations de la dynamique, de la mécanique, des vibrations etc... ne sont rien d'autre que des modèles et des systèmes de modèles mathématiques au sens que nous venons de donner.

Du relevé phénoménologique, ou *modèle phénoménologique*, au *modèle mathématique*, il y a justement toute l'activité de modélisation, et la question est alors, pour le physicien - l'acousticien par exemple - comment précisément passer du phénomène au modèle.

2.1. Analyse et Modèles Fonctionnels

De l'objet qu'il s'est mis en tête de connaître et comprendre, un superbe instrument à vent par exemple, dans lequel il a constaté qu'il y avait de fabuleux phénomènes tourbillonnaires, notre physicien a effectué une impressionnante série de mesures. Il dispose donc d'un "modèle" phénoménologique mais évidemment cela ne lui "explique" rien et il cherche un modèle plus subtil.

Plusieurs situations sont possibles.

Dans la première, il a une chance inouïe : devant lui, sur sa feuille, sans savoir ni pourquoi ni comment, est écrite une formule qui vérifie toutes les correspondances entre les conditions qu'il impose et les phénomènes qui en résultent et qui donne de ces derniers une représentation sous forme de fonction mathématique entièrement définie. Il peut alors prendre cette formule magique comme modèle et à défaut de comprendre de quelle manière elle lui a été révélée, se livrer à une série de contemplations sur les éléments qui la composent, ses propriétés mathématiques intrinsèques et prétendre que ces propriétés sont révélatrices d'une certaine essence de son objet. Il dispose d'une *physique* de son objet, d'une théorie toute faite.

Malheureusement, une telle circonstance n'est pas commune et le quotidien du chercheur de modèles est moins magique car il n'a en général, au premier abord, rien d'autre à contempler que ses données phénoménologiques. Ce qui ne manque pas de le conduire, à plus ou moins court terme, à un impérieux besoin de les mettre en pièces.

Il tente alors de décomposer le phénomène¹, c'est-à-dire d'exhiber des entités plus simples - tout en se garantissant de pouvoir reconstituer le tout par l'application d'opérateurs et de fonctions mathématiques bien définis - telles que pour celles-ci on connaisse déjà un modèle ou qu'en tout cas on puisse espérer en découvrir un plus aisément. Ce procédé correspond tout simplement ce que l'on appelle en général *l'analyse*. L'analyse, dans la démarche scientifique, fait méthodologiquement suite à l'observation et à la mesure.

¹ Dans cette partie du texte, nous employons pour alléger, le terme *phénomène* lorsqu'il s'agit des données numériques produites par la mesure.

Comme ces précédentes phases elle recourt à des moyens idéels, ici des représentations mathématiques ; on dira des *moyens conceptuels*. Mais évidemment, ces moyens se doublent ou se complètent de moyens objectifs : de la même façon qu'existent des moyens matériels d'observation existent des moyens matériels d'analyse.

L'analyse renvoie au concept de système déjà évoqué, où l'on a d'une part des éléments, d'autre part des relations ou des lois d'assemblage de ces éléments. L'analyse constitue un pas dans le processus de modélisation en ce qu'elle catégorise la démarche en deux phases : définir les lois de décomposition et modéliser les éléments de la décomposition.

Le "mur phénoménologique"

Dans le meilleur des cas alors, avec un peu de chance (mais moins que précédemment) on aura trouvé un moyen de décomposition connu nous conduisant à des éléments connus. On dispose alors d'un modèle qui s'exprime en deux niveaux : l'un relatif aux éléments, l'autre à leur combinaison.

Un tel modèle, quand il existe, a de nombreux avantages car il récupère au passage les vertus des systèmes de représentation, plus exactement des langages. Par ailleurs, aux propriétés mathématiques intrinsèques dont le physicien voyait, dans la formule mathématique du modèle précédent, une représentation de l'essence de son objet, s'ajoutent cette nouvelle catégorie de propriétés mathématiques : celle qui se lit dans l'expression des relations entre les éléments, dans la structure du modèle.

Malheureusement à nouveau, les choses vont rarement aussi facilement et l'on peut très bien ne trouver de modèle que pour la décomposition et non pour les éléments, ou inversement, pour arriver à des éléments modélisables, être obligé de découper arbitrairement, sans modèle. Essayant alors plusieurs façons, il se peut que nous ne parvenions pas à échapper à cette alternative. Enfin, dans le pire des cas, nous arrivera-t-il qu'aucune décomposition, même arbitraire, ne nous conduise à des modèles élémentaires connus quels qu'ils soient, peut-être parce que nous n'avons pas encore su les trouver, peut-être parce qu'il ne peut en exister dans nos mathématiques actuelles... Dans ce cas, comme dans le précédent, que ce soit en totalité ou en partie seulement, nous serons contraints de recourir à une forme de représentation *contingente*, c'est-à-dire qui ne peut s'exprimer que par un énoncé phénoménologique strict, sans règle génératrice sous-jacente, sans possibilité d'économie. Que cette description contingente apparaisse, d'ailleurs dans la caractérisation de ce qui assemble les éléments ou dans les éléments eux-mêmes ne change rien à l'affaire.

En d'autres termes, sauf pour quelques cas heureux, dans toute modélisation mathématique, il y a en général un "mur phénoménologique" infranchissable, une forme de représentation inéluctablement phéno-ménologique. Le modèle mathématique et le modèle phénoménologique ne peuvent être simplement opposés ; ils doivent au contraire, la plupart du temps collaborer.

Mais à nous acharner sur les phénomènes et vouloir les mettre en pièces, nous avons peut-être manqué quelque chose. N'y avait-il pas initialement deux entités ? Obnubilés par la création de ses représentations, nous avons fini par oublier l'objet.

Comme ces précédentes phases elle recourt à des moyens idéels, ici des représentations mathématiques ; on dira des *moyens conceptuels*. Mais évidemment, ces moyens se doublent ou se complètent de moyens objectifs : de la même façon qu'existent des moyens matériels d'observation existent des moyens matériels d'analyse.

L'analyse renvoie au concept de système déjà évoqué, où l'on a d'une part des éléments, d'autre part des relations ou des lois d'assemblage de ces éléments. L'analyse constitue un pas dans le processus de modélisation en ce qu'elle catégorise la démarche en deux phases : définir les lois de décomposition et modéliser les éléments de la décomposition.

Le "mur phénoménologique"

Dans le meilleur des cas alors, avec un peu de chance (mais moins que précédemment) on aura trouvé un moyen de décomposition connu nous conduisant à des éléments connus. On dispose alors d'un modèle qui s'exprime en deux niveaux : l'un relatif aux éléments, l'autre à leur combinaison.

Un tel modèle, quand il existe, a de nombreux avantages car il récupère au passage les vertus des systèmes de représentation, plus exactement des langages. Par ailleurs, aux propriétés mathématiques intrinsèques dont le physicien voyait, dans la formule mathématique du modèle précédent, une représentation de l'essence de son objet, s'ajoutent cette nouvelle catégorie de propriétés mathématiques : celle qui se lit dans l'expression des relations entre les éléments, dans la structure du modèle.

Malheureusement à nouveau, les choses vont rarement aussi facilement et l'on peut très bien ne trouver de modèle que pour la décomposition et non pour les éléments, ou inversement, pour arriver à des éléments modélisables, être obligé de découper arbitrairement, sans modèle. Essayant alors plusieurs façons, il se peut que nous ne parvenions pas à échapper à cette alternative. Enfin, dans le pire des cas, nous arrivera-t-il qu'aucune décomposition, même arbitraire, ne nous conduise à des modèles élémentaires connus quels qu'ils soient, peut-être parce que nous n'avons pas encore su les trouver, peut-être parce qu'il ne peut en exister dans nos mathématiques actuelles... Dans ce cas, comme dans le précédent, que ce soit en totalité ou en partie seulement, nous serons contraints de recourir à une forme de représentation *contingente*, c'est-à-dire qui ne peut s'exprimer que par un énoncé phénoménologique strict, sans règle génératrice sous-jacente, sans possibilité d'économie. Que cette description contingente apparaisse, d'ailleurs dans la caractérisation de ce qui assemble les éléments ou dans les éléments eux-mêmes ne change rien à l'affaire.

En d'autres termes, sauf pour quelques cas heureux, dans toute modélisation mathématique, il y a en général un "mur phénoménologique" infranchissable, une forme de représentation inéluctablement phéno-ménologique. Le modèle mathématique et le modèle phénoménologique ne peuvent être simplement opposés ; ils doivent au contraire, la plupart du temps collaborer.

Mais à nous acharner sur les phénomènes et vouloir les mettre en pièces, nous avons peut-être manqué quelque chose. N'y avait-il pas initialement deux entités ? Obnubilés par la création de ses représentations, nous avons fini par oublier l'objet.

2.2. Analyse et Modèles Structurels

Bien évidemment, le retour à l'expérimentation peut aider la modélisation, mais une alternative à la démarche précédente est possible si à ce niveau même, celui de l'expérimentation, on adopte une démarche analytique. Considérant l'objet lui-même comme une structure, c'est-à-dire un ensemble de sous-objets en relations, c'est lui que l'on va tenter de décomposer plutôt que le phénomène.

Analyse structurelle

Observer la structure interne d'un objet, c'est aussi une manière d'entrer en relation avec lui. Tout d'abord en considérant qu'il est constitué de parties discrètes, que ces parties peuvent être séparées effectivement sans que la décomposition se propage à notre insu pour ne nous laisser entre les mains que les rouages d'une horloge impossible à remonter. Et puis c'est considérer chacune de ces parties séparément ainsi que la façon dont elles se relient entre elles.

Remarquons que l'on peut éviter le démontage effectif. Il suffit de disposer de moyens d'observation des phénomènes relationnels entre les parties. Chaque partie peut alors être caractérisée par les comportements qu'elle manifeste à ses voisines et à l'expérimentateur en réponse aux sollicitations de celui-ci et... de ses voisines. Cependant peuvent apparaître quelques difficultés du fait que l'observateur, intrus dans cet ensemble, peut en perturber le fonctionnement sans être capable de reconnaître sa propre responsabilité. Par ailleurs, à nouveau il ne peut être certain que de tous les phénomènes, ici entre autres les phénomènes d'interaction, certains ne transcendent pas ses moyens d'observation.

Mais nous n'avons fait qu'enlever une pelure à l'oignon car devant les objets de cette décomposition les mêmes questions se posent à nouveau : en premier lieu nous n'en aurons, comme de l'objet initial, qu'une connaissance phénoménologique traduite par la mesure. Nous pourrons ensuite chercher à les modéliser, retrouvant à un moment ou un autre la même limite : l'impossibilité de caractériser les sous-objets autrement que par des données purement phénoménologiques.

Une chance supplémentaire toutefois nous est offerte car rien n'empêche de réitérer l'opération de décomposition et de pousser l'analyse structurelle d'un ordre plus loin. Mais là aussi apparaît un mur car il vient nécessairement un moment où l'objet résiste, soit parce qu'il se détruit, soit parce que ses éléments deviennent inaccessibles à notre expérimentation ou encore parce que les moyens de décomposer (ou tout simplement le courage) nous manquent. A cette extrémité nous devons alors nous contenter d'une analyse phénoménologique et finalement, probablement d'un noyau, d'un *atome* phénoménologique.

Si l'on considère une fois de plus en quoi consiste toute mesure réelle, c'est à dire en un ensemble fini de données numériques, et si l'on conçoit que les relations entre les différentes représentations aux différentes échelles de cette décomposition relèvent du *langage* mathématique, on voit réapparaître ici très explicitement le fait que toute modélisation, quelle que soit la démarche adoptée, substitue à l'objet réel un objet *fini*, d'une part, et un objet partiellement *contingent* d'autre part, c'est-à-dire dont l'"explication" ultime nous échappe.

Mais en effectuant ce dernier élément de parcours, nous venons également de mettre en évidence une notion supplémentaire. Tout d'abord, nous avons été amenés à invoquer l'idée de structure ou de système dans deux situations différentes, mettant en avant dans l'une et l'autre le fait que le dualisme élément/relation, composant/organisation constituait un paradigme fort pour la modélisation.

Le plus important est toutefois dans cet autre dualisme : la première démarche modélisatrice recourt à l'analyse, mais reste définitivement attachée au phénomène. Elle établit une relation mathématique, une *fonction*, entre les entrées et les sorties d'une "boîte noire" et si elle décompose, segmente, discrétise... elle reste résolument extérieure à la boîte noire, aussi peut-on l'appeler modélisation fonctionnelle et ses modèles des *modèles fonctionnels*. La seconde démarche recourt elle-aussi à l'analyse, mais c'est à la structure de l'objet qu'elle s'attache. Nous lui réservons ici le terme de *modélisation structurelle*.

Le modèle structurel a des points communs avec le modèle fonctionnel. Comme pour ce dernier, la connaissance à deux déterminations complémentaires, duales : l'une consiste en la caractérisation des parties, l'autre en celle de leurs relations.

Mais le modèle structurel est de loin le plus riche car les vertus "explicatives" de la représentation structurelle s'appliquent directement à l'objet. Plus loin, les propriétés de l'objet global bénéficient d'une forme d'"explication" plus élaborée qui combine les propriétés individuelles des constituants à la notion de propriété émergente, c'est-à-dire ce qui n'est dû qu'aux relations et qui ne pourrait se "voir" uniquement au niveau des éléments séparés.

Cependant aucun modèle ne peut être absolument structurel et en pratique, les trois formes de modélisation, *structurelle*, *fonctionnelle* et *phénoménologique* sont essentiellement condamnées à collaborer et à s'articuler. Le modèle phénoménologique peut être seul, ainsi que le modèle fonctionnel, par contre, le modèle structurel n'est jamais seul. Il se *ferme* nécessairement sur des modèles fonctionnels ou phénoménologiques ou les deux.

3 - Le Modèle Physique

Venons-en au concept de modèle physique.

Il y a une certaine ironie du langage, quand il est pratiqué trop vite à des fins de justification et de rentabilité immédiates, à produire des entités ou des expressions particulièrement contradictoires ou vide de sens là où les enjeux sont les plus importants. C'est le cas par exemple des termes *Intelligence Artificielle*, *Interface Homme/Machine* (alors que la machine n'est qu'une interface), *Réseaux Neuronaux* (lorsqu'il s'agit de réseaux d'automates cellulaires) et autres *Réalités Virtuelles*...

Le terme de Modèle Physique n'échappe pas à la règle. A son propos on rencontre toutes les dérives possibles. Dans certains cas, on emploie le mot *modèle* pour désigner les algorithmes d'ordinateur ; dans d'autres, on confond allègrement la modélisation d'un phénomène avec celle de ce qui l'engendre. Quant à la présence du mot *Physique* dans cette

expression, elle n'apporte aucune information véritable car lorsque l'on modélise un signal acoustique à l'aide d'une décomposition de Fourier par exemple, ne modélise-t-on pas un phénomène physique ? Est-ce en fait ce que l'on modélise qui est physique ou est-ce la manière de le modéliser ? est-ce le modèle qui est physique ou la physique qui est modèle ?

Malheureusement, comme pour les termes précédents, nous n'avons pas le choix, et si l'on veut communiquer, il faut utiliser les termes communs. Quoi qu'il en soit, si nous employons ici le terme de Modèle Physique, que ce soit au moins avec comme définition celle que nous avons mis derrière le *modèle structurel*, appliquée aux objets physiques et avec toutes les conséquences que cela comporte à tous les niveaux.

II - LE RETOUR AU PHÉNOMÈNE : LA SIMULATION

Les chemins imbriqués que nous venons de parcourir nous ont conduit l'un et l'autre de l'expérience phénoménologique directe à l'abstraction sous les espèces du modèle mathématique, fonctionnel, structurel etc... La matérialisation, le mode de manipulation et de manifestation à nos sens des modèles n'ont plus rien à voir avec ceux des objets auxquels ils se substituent ; leur nature est d'ailleurs secondaire.

Par l'abstraction les objets perdent leur sensorialité ; en même temps le rôle de nos gestes et de nos sens devient simplement utilitaire : ils servent à une interrogation et à une prise d'information. Et ceci est l'aboutissement réussi d'une détermination préméditée, pour les causes de la représentation, de son économie et de son efficacité.

La *simulation* ne correspond pas à ce mouvement. Investie depuis l'ordinateur, d'une légitimité forte alors qu'elle était plutôt considérée, par les mathématiciens par exemple, comme "impure" et bâtarde, elle est un outil de plus en plus revendiqué, y compris par ces derniers. Qu'est-ce donc que la simulation ? Que vient-elle faire dans nos efforts de représentation ?

1 - Qu'est-ce que simuler ?

Il faudrait tout d'abord bien se garder de croire que la simulation est le propre de l'ordinateur. Les automates de Vaucanson et autres géniaux inventeurs du XVIII^e siècle, sont bien, nul ne peut le contester, des simulacres, et même des "modèles" du genre. Les peintures rupestres des grottes de Lascaux sont, elles aussi, à leur manière des simulations.

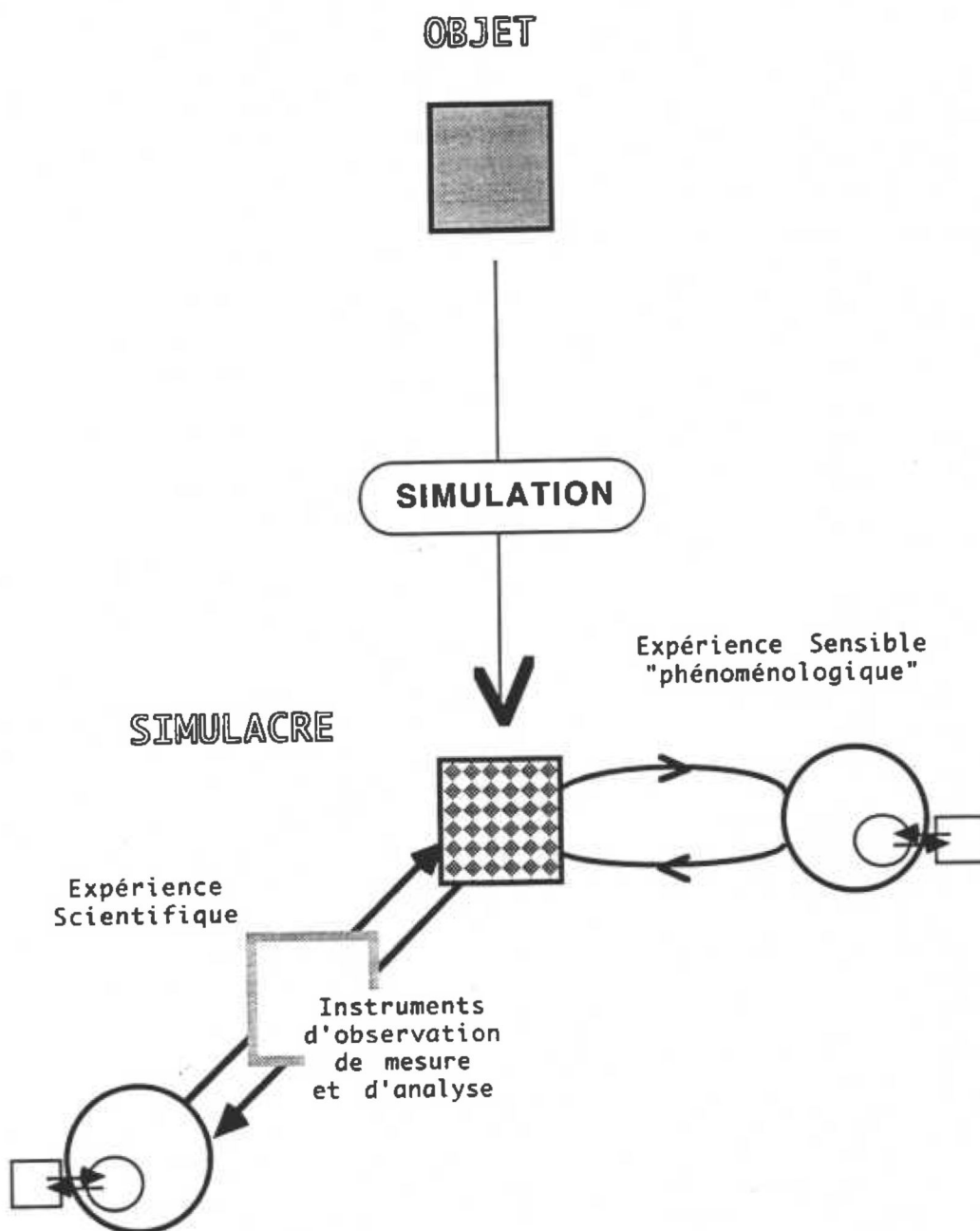
A l'autre extrémité, on appelle évidemment simulation les programmes d'ordinateur tels que celui qui permit à Lorenz¹ vers 1960 entre autre, de mettre en évidence le fameux "effet papillon", en débitant sur des feuilles de listings des séries interminables de chiffres représentant des phénomènes météorologiques.

Ce qui est commun à ces réalisations, au delà de leurs motivations et de leurs conditions matérielles, c'est l'importance du phénomène et de son observation. Le canard mécanique de Vaucanson n'est connu de ses spectateurs que par ses comportements visibles. Son constructeur s'est ingénié, à l'aide de mécanismes soigneusement dissimulés, à les rendre aussi proches que possible de ceux que pourrait avoir l'animal vivant. Les nombres calculés par l'ordinateur de Lorenz ne sont pas des phénomènes météorologiques tels qu'on pourrait les subir directement, mais il n'en sont pas plus loin que ce que donnerait leur mesure. Ils sont des représentations phénoménologiques. A considérer la finesse du tracé des dessins de Lascaux, on ne peut s'empêcher de penser, indépendamment de toute fonction symbolique, magique... que leur effet purement et strictement sensible (visuel) avait en soi un rôle premier, nécessaire d'ailleurs à ces autres fonctions.

Dans la simulation, il y a une même condition, une même motivation que celle qui est au départ de toute représentation : disposer, pour des raisons et des fins diverses, d'un objet qui est absent, éloigné, inaccessible parce qu'il est dans un autre espace, une autre dimension, un autre univers... et en disposer pour l'expérimenter, pour se placer en sa compagnie dans les conditions mêmes de l'expérimentation directe, sensible ou au moins phénoménologique.

A quelles fins et par quels moyens, c'est ce que nous essayerons de comprendre, mais toujours est-il que la simulation se caractérise en ce que la substitution qu'elle opère, qui a bien elle aussi comme visée une certaine économie, ne se fait pas de l'objet original à un objet représentant, mais globalement de *l'expérimentation directe sur l'original* à une *expérimentation directe... sur un simulacre*.

¹ Voir James Gleick, "La Théorie du Chaos, vers une nouvelle science", trad. C. Jeanmougin, Albin Michel, Paris 1989.



2 - Simulation Phénoménologique / Fonctionnelle / Structurale

Si nous pouvons décider de simuler un objet, c'est que nous en avons une certaine connaissance, au moins phénoménologique, qui nous permet de l'évoquer. Il faut donc, même si l'objet est absent ou distant, qu'une expérience minimale soit ou ait été possible. Simuler à partir d'une connaissance phénoménologique donnée, c'est alors tenter de restituer la situation expérimentale dans sa globalité, c'est-à-dire en particulier dans les mêmes conditions de cohérence, de temporalité et de dépendance entre les phénomènes relatifs à l'action et les phénomènes relatifs à la perception. Tout se présente comme au début dans la mesure où l'on doit effectuer une substitution et l'on retrouve au passage la condition de la représentation : la correspondance entre le simulacre et l'objet, établie par confrontation expérimentale, ne sera que conjecture au delà de celle-ci.

Alors, sauf à tomber par chance sur un simulacre adéquat tout prêt, nous devons engager une démarche pour le constituer. En fait, avant même de pouvoir dire quelle sorte de connaissance nouvelle nous apportera la simulation, nous devons approfondir celle que nous avons déjà. Il nous faut connaître pour simuler.

Simulation phénoménologique

Une première attitude consiste en effet, s'en prenant au phénomène (puisque c'est lui dont nous disposons), à l'analyser et le décomposer. Cherchant pour chaque élément de la décomposition des simulacres partiels, la tâche a des chances d'être plus aisée que pour le tout, globalement. On reconstituera alors le phénomène global en combinant ces derniers. Ainsi, le dessinateur, le peintre,... ceux de Lascaux comme les plus contemporains, décomposent-ils le phénomène visuel en éléments chacun reproductible à l'aide d'objets partiels, de substances visibles selon les mêmes attributs, puis réalisent une *synthèse* du phénomène en agencant librement ces objets élémentaires les uns avec les autres.

Il y a entre la mesure du physicien et cette restitution phénoménologique une différence essentielle : la seconde est sensible, la première abstraite ; mais il y a une identité profonde par le fait que les éléments qui en font la substance sont *libres* les uns par rapport aux autres. Dans les ensembles numériques qui caractérisent un relevé phénoménologique, la valeur d'un élément n'est liée à celle des autres que par le fait de leur relation de représentation au phénomène et non par leur support matériel. Dans le dessin et dans la restitution phénoménologique en général, de la même manière, les éléments supports des effets élémentaires sont libres les uns par rapport aux autres. D'ailleurs, plus la décomposition est fine et plus les objets de substitution sont élémentaires, plus grande est la liberté entre eux et, peut-on dire, plus la restitution "colle" au niveau phénoménal, à la surface de l'objet.

A côté du dessin, on peut placer l'exemple générique de la photographie (on pourrait prendre aussi la "phonographie"...). Le phénomène visuel est décomposé en parcelles : les points lumineux, dont les attributs sensibles sont portés par des objets libres les uns par rapport aux autres : les molécules colorées de l'émulsion. Toutefois, du premier au second, se produit une chose nouvelle qui est que la décomposition du phénomène, la mise en correspondance et la restitution pour chaque élément se passent de toute intervention humaine. Voisins des dispositifs d'observation et de mesure évoqués plus haut, de tels dispositifs sont des appareils d'*enregistrement et de restitution phénoménologique*.

Mais que la correspondance soit établie "manuellement" ou "automatiquement", le principe est au fond le même et il s'agit de ce que l'on pourrait appeler, par analogie avec la modélisation une *simulation phénoménologique*, degré zéro de la simulation.

Degré zéro en effet car dans cette situation, une chose essentielle est impossible : s'impliquer dans une relation expérimentale interactive, une relation dans laquelle le sujet est actif et où les phénomènes qu'il peut observer sont dépendants de ceux qu'il produit. Ici, le sujet n'a pour toute action que le loisir de se placer en la présence du simulacre pour percevoir ses effets. Ceci n'est légitime que dans les cas particuliers où, précisément, la relation initiale avec l'objet est elle-même unilatérale : si l'objet d'origine n'est a priori accessible qu'en perception et que nos actions à son égard sont impossibles ou inutiles.

Si nous voulons une restitution de la situation phénoménologique dans ses aspects effectivement interactifs, nous rencontrons un autre ordre de difficultés. Toujours au niveau des phénomènes, il nous faut tenir compte de la dépendance entre ceux qui se rapportent à l'action et ceux qui se rapportent à ses conséquences. Pour appliquer un principe de décomposition semblable au précédent et avec les mêmes avantages, il nous faudrait pouvoir décomposer non pas chaque catégorie de phénomènes séparément, mais la totalité action/réponse en parties permettant des actions élémentaires et produisant des réponses élémentaires. Les parties seraient libres les unes par rapport aux autres, mais à l'intérieur de chacune d'elle, les actions et les réponses seraient indissociables.

En fait, une telle décomposition n'est possible que dans certains cas très particuliers où actions et réponses se correspondent exclusivement dans l'instant, ou tout au moins dans une certaine "épaisseur du présent". Plus précisément, il faut qu'à l'intérieur d'une certaine durée qui sera alors la limite de décomposition possible, les phénomènes conséquences de l'action ne dépendent en aucune manière de ce qui s'est passé en dehors de cette durée, aussi bien pour les "entrées" que pour les "sorties". Si tel est le cas, on peut alors envisager une superposition de sous-objets simulacres chacun expérimentable interactivement et agencés de façon à ce que pour chacune des actions envisageables se trouve la réponse correspondante. Les cames¹ et les systèmes à tirettes des automates du XVIII^e siècle correspondent à cette fonction. C'est aussi celle des mémoires à accès aléatoire des ordinateurs aujourd'hui.

Dans ce cas, on peut parler de synthèse phénoménologique interactive, mais malheureusement les situations que cela peut couvrir sont très singulières et relativement simplistes. On peut voir (entendre) une illustration de ce procédé, dans le monde des instruments de musique électroniques actuels, avec ces appareils qui utilisent des enregistrements de sons d'instruments réels dont une touche de clavier déclenche la lecture.

Les deux cas qui viennent d'être décrits, d'où l'on peut décliner un grand nombre de variantes et de combinaisons, restent relativement voisins dans la mesure où ils présentent l'un et l'autre des limites immédiates. Ils ne peuvent s'appliquer qu'à deux situations extrêmes, l'une où l'interaction est totalement absente, l'autre où elle est en quelque sorte *totalement présente*. Mais ils sont voisins aussi parce que l'un et l'autre, ils restent très près du phénomène. Nous proposons d'étendre au second cas le terme de *simulation phénoménologique*.

¹ Utilisée toutefois en statique c'est-à-dire par exemple en choisissant une position angulaire pour obtenir un déplacement radial, puis ultérieurement une autre, pour un autre déplacement, et en faisant abstraction du parcours qui mène de l'une à l'autre.

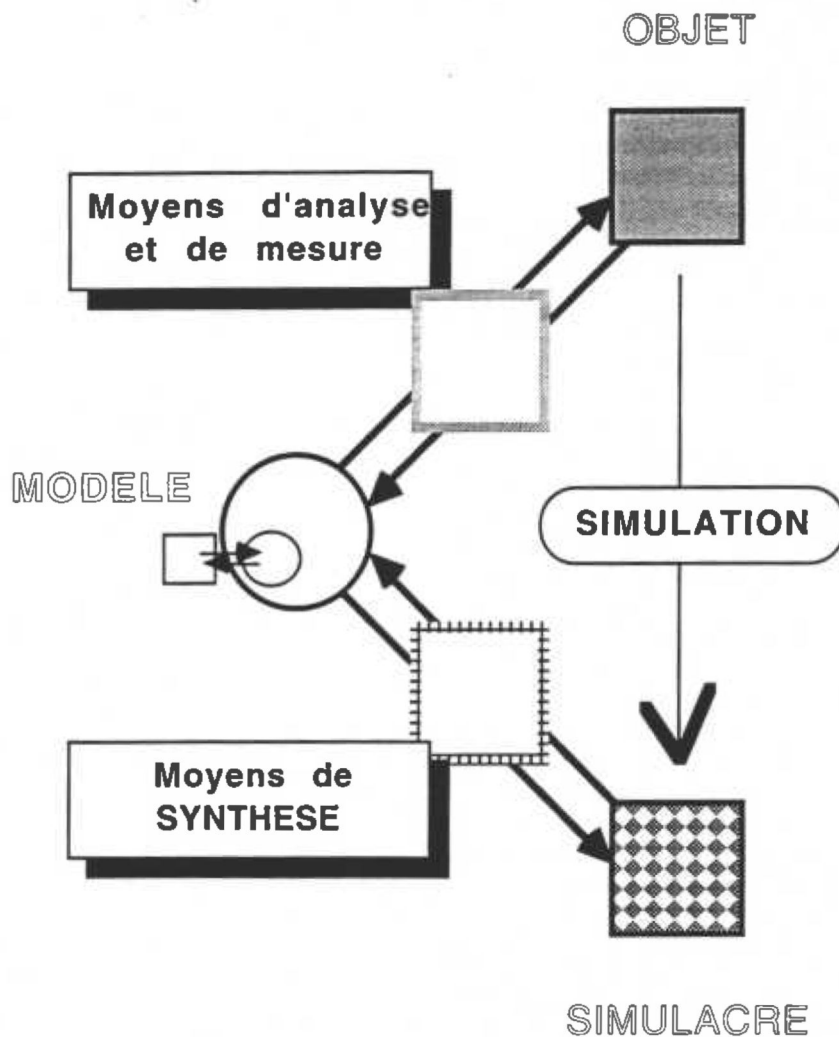
Dans le cas général, la difficulté vient précisément de ce que les sollicitations et les réponses ne sont pas si simples dans leur dépendance temporelle : une action de courte durée peut avoir un effet étendu, une action étendue peut n'avoir d'effet qu'un certain temps après son temps propre etc. Une autre attitude est alors envisageable si on parvient en particulier à effectuer une autre forme de décomposition des données de départ : une décomposition dans laquelle chaque partie prend à sa manière en charge une correspondance entre des phénomènes de *contrôle* ou de *commande* et des phénomènes résultants et telle que, interagissant les uns sur les autres dans une recombinaison globale, la correspondance soit établie globalement entre les entrées et les sorties. C'est, est-il besoin de le souligner, le pendant de l'analyse et de la modélisation fonctionnelles.

Il apparaît maintenant clairement un parallèle entre la démarche d'analyse qui nous a conduit au modèle et celle de la ... *synthèse* ² qui nous conduit au simulacre. Ce n'est pas tout-à-fait un hasard, mais il ne faut pas manquer de remarquer ce point important : l'analyse et la synthèse vont en quelque sorte dans des sens symétriques, mais pas tout à fait cependant sur le même chemin. De chaque stade ou forme d'analyse, il faut repartir, pour simuler, vers le niveau des phénomènes, et les moyens pour l'aller ne sont pas toujours utilisables à l'inverse pour le retour.

Ici, en l'occurrence, disposant d'une analyse fonctionnelle de l'objet initial, nous avons des modèles abstraits dans lesquels apparaissent des composants dont il faudrait trouver des équivalents concrets. Pour chacun des composants, le problème se pose alors comme au premier niveau : soit nous disposons par chance d'un élément qui convient et que nous mettons alors à contribution sans plus de questions, soit il n'en est rien et nous avons le choix entre lui trouver un équivalent phénoménologique ou poursuivre l'analyse fonctionnelle à son propos.

Pour chaque sous-niveau, le problème se pose ainsi de manière récurrente, au point que nous allons, si nous n'y prenons garde, nous faire prendre dans un piège fractal. Supposons alors, pour stopper le processus, que nous trouvons un dispositif adéquat pour chacune des fonctions relevant de l'analyse fonctionnelle. Les recomposant dans un tout structuré, nous pourrions alors parler de *simulation (synthèse) fonctionnelle*. La simulation fonctionnelle se caractérise par le fait qu'elle recourt à des composants agencés et interagissant entre eux selon une certaine structure mais la nature de cette structure n'a a priori aucun rapport avec celle de l'objet ; elle résulte d'une analyse fonctionnelle des phénomènes et d'une modélisation fonctionnelle du processus de leur engendrement.

² Incidemment, le terme de *simulation*, quitte à lui donner un sens un peu élargi, est à notre sens celui qui conviendrait à ce que l'on a l'habitude d'appeler *synthèse* dans les domaines du son et de l'image en particulier. Il faudrait ensuite lui adjoindre un qualificatif spécifique et parler de *simulation acoustique, mécanique, numérique, par modèle physique* etc.



Pour revenir aux composants donc, de trois choses l'une :

- soit nous avons la chance de disposer d'un élément adéquat que nous utilisons tel quel sans nous préoccuper de ce qu'il contient - sans garanties sur sa finitude et sa stabilité, opaque à toute connaissance -
- soit il est à nouveau une structure aux composants de laquelle il faudra appliquer récursivement le raisonnement présent,
- soit enfin il est un simulacre purement phénoménologique, interactif ou non.

Les automates de Vaucanson interagissaient avec leur milieu et manifestaient des comportements différenciés. Cependant, les mécanismes internes desquels ils étaient constitués n'avaient en eux-mêmes rien de ressemblant avec l'intérieur des êtres correspondants. Construisant ces androïdes, les ingénieurs inventeurs de cette époque, pour qui la technologie contemporaine (aussi prestigieuse alors que l'ordinateur l'est pour nous)

était la mécanique, pensaient démontrer la "mécanicité" du vivant en faisant en sorte que tout se passe, vu de l'extérieur, conformément aux phénomènes et aux interactions connus. Pour cela, il entraient dans une simulation qui, à leurs yeux et en l'absence de possibilités d'analyses et de décomposition plus poussées, pouvait passer pour relativement structurelle (selon les termes que nous employons ici), alors que nous la prétendrions aujourd'hui plutôt fonctionnelle.

On aura compris alors que la troisième voie est celle que nous avons déjà adoptée pour modéliser l'objet, c'est-à-dire nous détourner provisoirement du phénomène pour nous intéresser à l'objet et nous livrer à une analyse structurelle de celui-ci, dans l'espoir de trouver, à défaut d'un simulacre tout fait pour le tout, des simulacres pour ses composants. Nous construirons alors un simulacre pour le tout, par *synthèse*, en composant les simulacres élémentaires.

La synthèse, prise dans un sens large, est une reconstruction à partir des plus petits éléments (constituant une base) pour aller vers la réalisation d'une fonction macroscopique déterminée. La démarche est donc globalement symétrique de celle de l'analyse, mais la différence fondamentale réside dans le fait que, dans le cas de l'analyse, c'est l'objet initial (la référence) qui est imposé, dans celui de la synthèse, ce sont les éléments et les règles de construction. Si les éléments et les règles de construction de base sont par leur fonction individuelles analogues à celles qui résulteraient d'une analyse structurelle de l'objet à réaliser, alors, la démarche est directe. Il suffit en effet de reproduire avec ce système, à l'identique, la construction de l'objet, composants et liaisons. L'isomorphie structurelle entre la référence et l'objet reconstruit étant garantie, le principe de causalité prend toute son "effet" : les causes étant identiques, les effets le seront aussi.

Si elle est possible, cette démarche est celle qui garantira a priori la plus grande expérimentabilité du simulacre. Parallèlement à l'analyse structurelle de l'objet, vient alors le principe d'une *synthèse ou simulation structurelle*.

Mais ça ne finit pas comme cela !

Le "mur phénoménologique" à nouveau

Pour la simulation structurelle se pose le même problème que pour la simulation fonctionnelle. Peu importe que les composants d'ordre inférieur soient des éléments fonctionnels ou des constituants effectifs de l'objet. Au moment de leur trouver un représentant concret le problème se pose de la même façon : soit nous disposons d'un élément adéquat etc., soit nous progressons d'un nouvel ordre dans la décomposition pour retrouver plus loin les mêmes questions, soit nous nous arrêtons et nous contentons d'un simulacre phénoménologique.

Dans le sens de l'analyse, nous finissons par devoir nous arrêter à une forme fonctionnelle et enfin à une forme purement phénoménologique. Dans celui de la synthèse, fixés sur une synthèse structurelle, nous ne pourrons partir en amont tout d'abord d'un certain "mur fonctionnel", puis, en amont de celui-ci d'un certain "mur phénoménologique". Aucune synthèse, aucune simulation ne peut être complètement structurelle (tout d'abord parce qu'aucune analyse ne peut l'être).

Ainsi, dans toute simulation, aussi fine soit-elle, y-a-t-il, à ses fondements nécessairement, et peut-être dans ses étages supérieurs, cohabitant avec des éléments structurels et des éléments fonctionnels :

- soit une base inconnue si l'on a recouru à des "emprunts à la nature", avec ses risques d'instabilité,
- soit une base phénoménologique fondée sur l'enregistrement pur et simple d'événements ou de correspondances terme à terme entre des événements d'entrée et des événements de sortie, sur une mémoire phénoménologique.

La substance complète de la simulation est alors une combinaison structurée, fonctionnellement ou de manière homéomorphe à la structure de l'objet initial, de ces constituants de deux natures opposées. La seule chose qui puisse être identique absolument, côté objet et côté simulacre, est, entre deux niveaux déterminés ou plus subtilement distribuée entre le plus bas et le plus haut, l'organisation structurelle. *Seule la structure des choses est véritablement imitable.*

De sorte que, au passage, il faut là aussi s'interroger sur la finitude ou l'ouverture ontologique. Pensons, si nous avons souri plus haut de la naïveté des mécaniciens du XVIII^e siècle, que la moquerie s'adresse à nous qui croyons créer l'Intelligence et les Réalités Artificielles alors que nous ne sommes qu'un petit peu plus profond dans la structure et que ce que nous en savons est bien souvent plus fonctionnel que structurel, quand ce n'est pas purement phénoménologique.

3 - Du Modèle au Phénomène : la Simulation par ordinateur

Venons-en maintenant à l'ordinateur dont on aura remarqué qu'à quelques allusions près, il n'était absolument pas nécessaire dans les explications qui précèdent. Il ne nous reste en fait que très peu de choses à dire pour caractériser la simulation par ordinateur. Cela ne signifie pas que ce soient les moindres.

Tout d'abord, l'ordinateur n'est pas nécessairement exclusivement une machine de simulation de la pensée ou du raisonnement. C'est avant toute chose une machine de représentation. A ce titre, elle peut prendre comme cible tout ce que l'on peut a priori identifier dans le monde réel, celui de la pensée en fait partie, comme celui des objets... disons physiques. Nous nous y intéressons ici pour le second cas de figure pour lequel nous pourrions nous passer absolument de toute référence au raisonnement, à la logique, à la déduction etc.

Qu'est alors un ordinateur en dehors de ces catégories ?

L'ordinateur effectue premièrement une mise en correspondance de deux mondes phénoménaux, celui de notre environnement et celui de phénomènes électroniques, inaccessibles à nos sens (sauf lorsqu'il s'agit d'assez hautes tensions) et à nos actions directes. Il y a, à la périphérie d'un ordinateur tout d'abord ce que l'on doit appeler en termes techniques des transducteurs, entités à double face (ou vis-à-vis entre deux faces, cela dépend du point de vue) dont la première fonction est de donner un équivalent électronique des phénomènes du monde réel (humain et physique), dans un sens, un équivalent physique ou sensible de phénomènes électroniques dans l'autre.

Il s'agit d'ores et déjà d'une représentation. Elle a d'ailleurs un caractère spécifique très important : entre les phénomènes physiques (humains ou non) et les phénomènes électroniques qui leur sont associés, une très grande différence énergétique s'établit qui répond au critère d'économie poussé à un certain extrême. C'est l'intérêt fondamental des phénomènes électroniques qui peuvent s'identifier à des formes temporelles quelconques avec un coût très faible en énergie. Cette correspondance au niveau purement de la forme qui débarrasse les phénomènes de leur lourdeur matérielle et énergétique donne naissance au concept d'information : représentation de la forme à énergie minimale¹. Les transducteurs, fondés sur cette catégorisation fondamentale, née au XXe siècle, entre énergie et information, l'appliquent aux phénomènes physiques pour n'en retenir que la seconde lorsqu'ils interviennent dans le sens monde réel - ordinateur, pour restituer la première (fonction *effecteur*) lorsqu'ils interviennent dans l'autre sens.

L'ordinateur est en second lieu un fantastique point de rencontre entre le modèle mathématique et le simulacre.

Entre les nombres qui ont permis la mesure, la modélisation mathématique... et les entités électroniques que nous appelons les digits binaires (les bits plus simplement), en lesquels se réduisent après un second stade de représentation, les signaux électroniques précédents, il y a une très grande proximité. Proximité parce que les bits comme les nombres sont une "essence de catégorisation", mais proximité seulement parce qu'il y a précisément une différence fondamentale : là où les mathématiques utilisent en dernier recours l'homme pour réaliser effectivement l'association entre des ensembles de nombres et d'autres ensembles de nombres, la correspondance entre des ensembles de bits et d'autres ensembles de bits se fait de manière matérielle (on dit en général, pour éluder les vraies questions : de manière *automatique*) parce que les bits en question sont et demeurent, malgré la manière formelle et abstraite de les évoquer, des objets, de différentes natures certes, mais interagissant matériellement entre eux, et c'est leur capacité d'interaction qui est la chose importante. *Ce qui est en représentation à la base, dans l'ordinateur, n'est pas la grandeur, mais l'interaction.*

C'est la simplification extrême et la maîtrise des interactions élémentaires entre ces objets qui constituent la base des "machines électroniques". Il ne faut pas dire qu'avec l'ordinateur on peut décrire en termes de logique et d'algorithmes les équations mathématiques et que la "machine les résout alors automatiquement", nous libérant d'une tâche fastidieuse ou trop difficile, mais que les objets de base *sont les équations* elles-mêmes. Dans l'ordinateur, le concret et l'abstrait se rencontrent, là où on s'y attendait le moins, au niveau de la plus petite décomposition matérielle que l'on sache opérer et maîtriser. Et la simulation avec l'ordinateur, au lieu de reconstruire la matière des objets physiques, emprunte *matériellement* le chemin des mathématiques.

Simuler avec l'ordinateur, c'est alors utiliser l'algorithme à la place de la formule mathématique, en tant que moyen de prédiction pour lui faire prédire les uns après les autres tous les éléments de l'avenir que le modèle renferme potentiellement. La simulation en "temps-réel" c'est, chose que le mathématicien n'a pas le temps de faire, prédire tous les

¹ C'est ce concept qui manquait d'ailleurs aux "automaticiens" du XVIIIe siècle. En effet, les tambours à picots qui soulevaient les bras, mouvaient les membres et faisaient jouer les articulations des androïdes contenaient l'information relative au mouvement à effectuer en même temps qu'ils communiquaient, depuis une source centrale, l'énergie nécessaire à ces mouvements.

instants consécutifs des phénomènes conséquences à un rythme égal à celui auquel ils surviendraient en réalité, et en tenant compte, à ce rythme également, de l'évolution des phénomènes qui les provoquent. C'est ainsi que l'ordinateur, doté de ses opérateurs numériques, de ses fonctions et de ses transducteurs, autorise ce chemin inverse, du *modèle au phénomène*.

Enfin, dans une simulation à l'aide de l'ordinateur on rencontrera bien évidemment toutes les conditions évoquées plus haut. L'ordinateur ne leur échappe pas et si l'on considère le niveau le plus fin, celui des opérateurs binaires élémentaires, tests, copies de registres, de mémoire etc. nous parlons de calcul, de logique, de fonctions, mais ces opérations sont des "processus phénoménologiques" : une table de vérité, ou plutôt un circuit "ET", "OU" etc. réalisent une correspondance prédéfinie entre la valeur des digits à ses entrées et celle de sa (ses) sorties.

La "Simulation par Modèle Physique"

Quant à la simulation numérique par modèles physiques, on peut en proposer maintenant une définition circonstanciée : il s'agit d'une simulation dans laquelle l'analyse structurelle d'un objet physique sert à créer un modèle mathématique qui devient la base de la construction d'une structure de processus numériques convergeant vers la simulation globale de cet objet.

La simulation des objets du monde physique à l'aide de l'ordinateur, possible avec une certaine pertinence à partir d'un stade suffisant de ses performances, inaugure alors une forme de représentation sans équivalent antérieur. Les objets représentés ne sont plus seulement observables, mais manipulables, et, plus loin, ce qui est en représentation n'est pas seulement la surface, l'apparence des choses, mais une part de leur être interne, comme si on allait pouvoir le redécouvrir. L'ordinateur permet, dans la quête de la représentation, un déplacement fondamental d'une science et d'une connaissance des phénomènes sensibles vers une science et une connaissance de leurs causes génératrices que l'on met elles-mêmes en représentation.

Toutefois, une simulation par modèle physique n'est jamais entièrement physique et comporte nécessairement des constituants fonctionnels et phénoménologiques, soit en raison des limites de l'analyse (modélisation) soit en raison de celles de la synthèse. Plus loin, la simulation par modèle physique à l'aide de l'ordinateur met en jeu un système de construction dont les plus petits constituants sont des micro-systèmes finis : le nombre d'états dans lesquels ils peuvent se trouver est déterminé par le nombre et la taille des mots binaires qui en permettent la mémorisation et la transmission. Par ailleurs, le dispositif final n'est, lui aussi qu'un agencement fini de ces constituants et le nombre d'états dans lesquels il peut alors se trouver à son tour, aussi gigantesque soit-il, est également fini. L'ordinateur, à ce titre, non seulement ne nous fait pas échapper à la finitude, à la coupure ontologique, mais la consacre d'une façon jusque là inégalée.

Il ne faudrait pas voir du pessimisme dans cette dernière remarque, ni l'amorce d'une conclusion négative. Au contraire. Mais pour comprendre où se trouve le positif, il faut encore quelques remarques. Nous avons tenté de dire ce qu'était la simulation et comment elle se pouvait. Il nous reste, pour finir à essayer de comprendre pourquoi on simule.

TROISIEME PARTIE SIMULER POUR CONNAÎTRE

Nous en venons plus significativement maintenant au lieu de rencontre annoncé au début de notre deuxième partie : deux catégories au moins de sujets humains ont en effet recours aujourd'hui à la simulation : les scientifiques de toutes disciplines, et les artistes, en particulier, pour ces derniers, ceux qui créent des images ou des sons par le moyen de l'ordinateur. Considérons, afin d'établir plus aisément des rapprochements, dans les communautés des deux catégories précédentes, les représentants particuliers et en liaison naturelle suivants : les physiciens de l'acoustique et les musiciens. Ce qui est d'emblée frappant, c'est que malgré la différence manifeste de leurs objectifs respectifs, ils sont les uns et les autres partie prenante de la simulation, entre autre de la simulation par modèle physique. La question que l'on peut se poser est alors : qu'est-ce qui les rapproche, qu'ont-ils en commun, et qu'est-ce qui les différencie ?

Observons alors tout d'abord séparément les méthodologies de la simulation chez le physicien et chez l'artiste (informaticien).

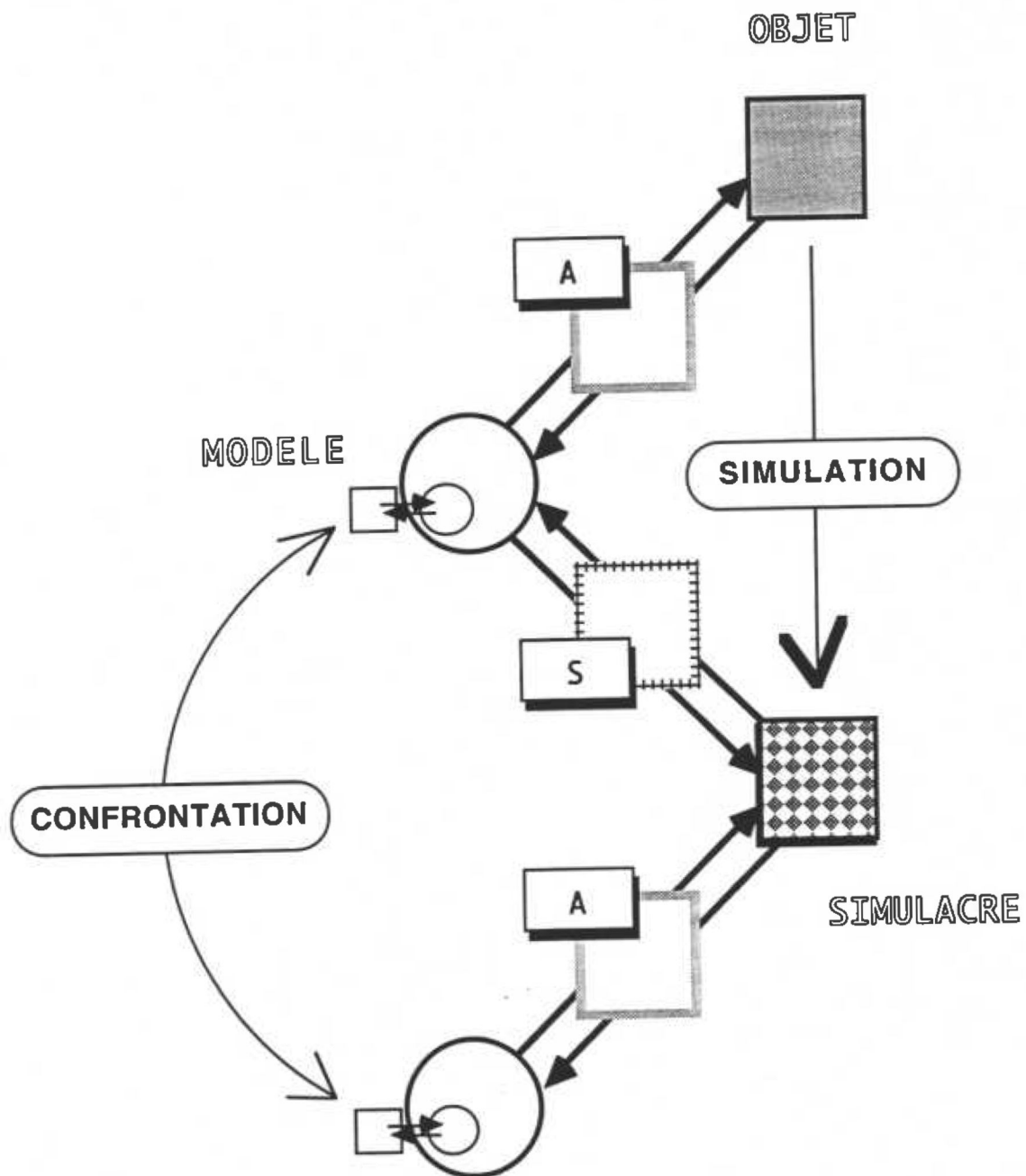
I - LA SIMULATION DU PHYSICIEN

La simulation, avons-nous dit, correspond à un retour à l'expérimentation, mais à une expérimentation non pas en vraie grandeur ni avec les vrais phénomènes, mais avec un objet ou dans une situation de substitution. Une première différence entre le physicien et l'artiste est alors que si le second a un besoin impérieux du phénomène sous sa forme sensible, le physicien semble pouvoir se contenter d'un "relevé phénoménologique", d'une médiation sous forme de nombres ou de graphiques.

Mais si le physicien simule un objet dont il a déjà par ailleurs une certaine approche, une certaine connaissance, c'est qu'il envisage par là même, d'acquérir une nouvelle maîtrise. Ce faisant, il met alors en oeuvre une méthodologie générale assez complexe, un protocole que l'on peut représenter dans un diagramme en plusieurs étapes :

Tout d'abord, par des moyens matériels expérimentaux et des moyens conceptuels divers, le physicien élabore un modèle, un modèle mathématique de l'objet. Quelle que soit la situation, l'objectif ou le contexte, cette première étape est incontournable. Partant de cette première connaissance, il construit ensuite un algorithme qu'il traduit en programmes. Associés aux transducteurs adéquats, ces processus constituent alors le simulacre.

A l'issue de l'opération, on se trouve ainsi devant deux entités, l'objet et le simulacre, toutes deux a priori abordables selon la même approche expérimentale. Dans la démarche du physicien, une étape est alors fondamentale : celle de la confrontation entre l'original et le simulacre. Cette confrontation, le physicien la mène loin de l'"imperfection" et des caprices des sens, au niveau seul rigoureux et admissible pour lui, du relevé phénoménologique, de la mesure, et par là, il établit la validité du simulacre, c'est-à-dire l'aptitude de ce dernier à se substituer légitimement à l'original, dans les expérimentations.



Par essence, puisque l'on n'a de l'original qu'une connaissance définie, qu'il nous est inaccessible au delà d'un certain domaine, la confrontation ne peut évidemment porter que sur ce domaine, mais il peut néanmoins s'engager un certain processus dialectique comportant un retour à la construction (synthèse) voire à la modélisation même (analyse), jusqu'à obtenir une coïncidence satisfaisante entre ce qui est expérimentable simultanément sur l'un et sur l'autre.

Dans cette première phase de la simulation, on s'est en fin de compte fixé un premier objectif : faire coïncider au mieux les aspects phénoménologiques "connaissables". L'identité de ce qui peut être confronté donne alors au physicien confiance en son simulacre, par la même en toute la chaîne analyse/synthèse et, dans la mesure où il est peu probable qu'une dérive en analyse soit exactement compensée par une dérive en sens inverse en synthèse, une certaine confiance respectivement et séparément en ses moyens d'analyse, ses modèles et ses moyens de synthèse. A ce titre, le tout premier produit de la simulation, quand elle est réussie, est une maîtrise, une constitution des outils de cette connaissance. Il n'y a là rien de véritablement nouveau si l'on considère que l'on peut appliquer le même raisonnement au niveau du simple dipôle objet/modèle, sans aller chercher la simulation : si le modèle permet de prévoir effectivement, c'est qu'il possède une certaine vertu de représentation en laquelle on peut avoir confiance...

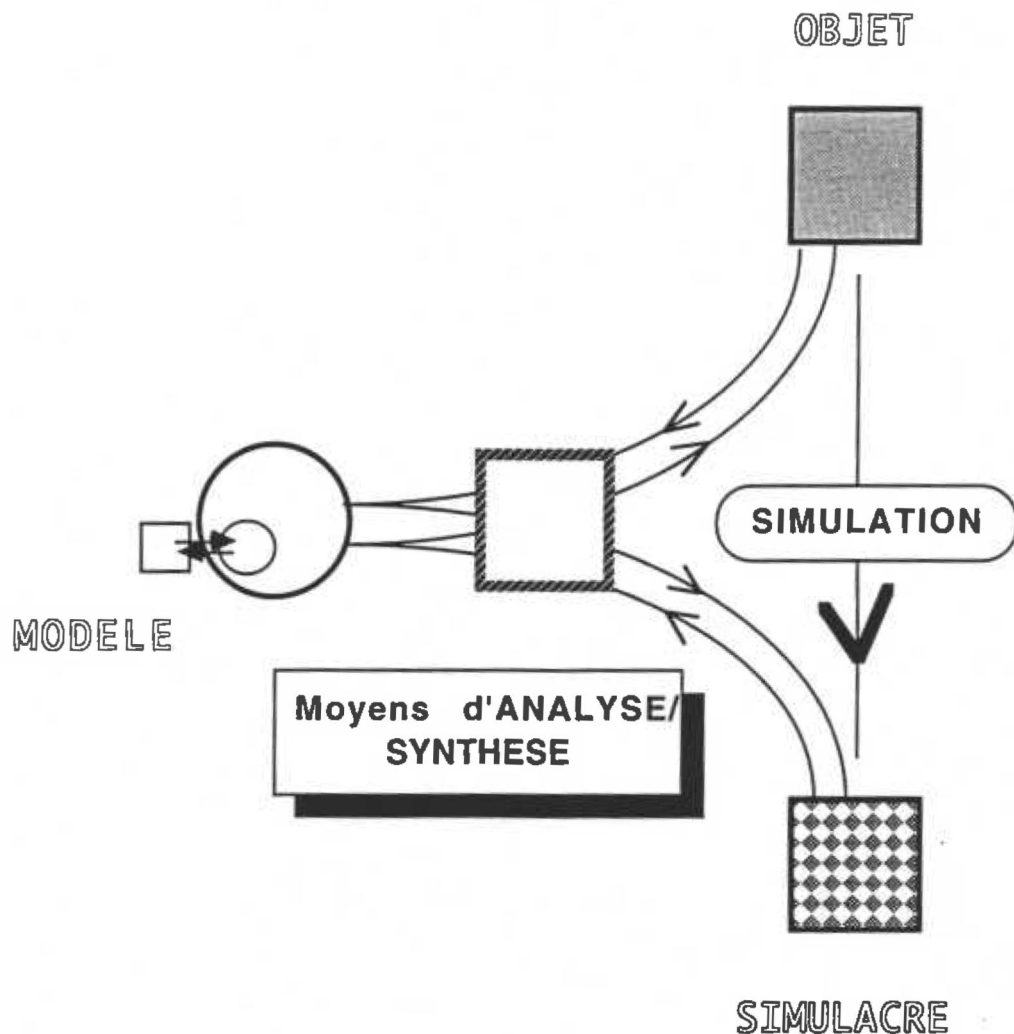
Quel est alors le véritable but, le véritable apport de la simulation pour le physicien ? Dans la mesure où le simulacre, en particulier lorsqu'il est construit dans l'espace discret et fini de l'ordinateur nécessite une connaissance entièrement prédéterminée et également finie de l'objet, quelle nouvelle connaissance peut-on espérer acquérir ? Quelle est la vertu du cercle qui semble se fermer ici ?

II - UNE PHYSIQUE ALGORITHMIQUE

Il y a une différence essentielle entre le modèle et le simulacre. Le simulacre opère, il est un algorithme au sens fort de ce terme, c'est-à-dire de séquence de processus opérants, descriptibles dans l'abstrait avant d'être construits et effectifs, mais effectifs indépendamment, on pourrait dire plus fortement "malgré", "en dépit" de toute description logique, formelle, mathématique. De cette différence, et dans la mesure où l'algorithme et la description formelle ne réduisent pas l'un à l'autre, il y a, en substance, dans la simulation, plus exactement dans l'algorithme de simulation, une nouvelle forme de représentation et de connaissance, une nouvelle forme d'*explication*, sachant qu'aucune explication absolue et définitive n'est envisageable (tant que notre connaissance des choses n'est qu'une connaissance partielle d'une partie des choses, il ne peut y avoir, pour chaque chose que des connaissances multiples).

Partant de là, incidemment, une nouvelle perspective épistémologique s'amorce. On a évoqué une correspondance, une transposition entre les moyens de l'analyse et ceux de la synthèse. On a essayé de "faire coller" les seconds aux premiers, et l'on y était contraint parce qu'implicitement on ne pense, au moment de la modélisation, qu'aux outils mathématiques traditionnels, issus par exemple du calcul infinitésimal, dont on cherche une "traduction" dans les nouveaux moyens.

Or, si l'on parvient, dans le domaine de représentation propre à l'ordinateur, c'est-à-dire essentiellement celui du discontinu, des tables de vérité, de la mémoire discrète phénoménologique, etc. à créer un système (au sens générateur du terme, c'est-à-dire capable de représenter un très grand nombre de situations à partir d'une base finie et cohérente d'éléments), alors les éléments et les règles de ce système peuvent devenir les moyens mêmes d'une nouvelle forme d'analyse et de description, par essence parfaitement symétrique de la synthèse. Ces moyens d'analyse peuvent alors fonder une véritable physique : une *physique algorithmique*.



C'est dans cette perspective que la démarche CORDIS-ANIMA¹, qui vise à constituer un système de *modélisation* ET de *simulation* des objets physiques tente de s'inscrire.

¹ CORDIS-ANIMA est le nom d'un langage et d'un système de modélisation et de simulation développé depuis le début des années 80 à l'ACROE, à Grenoble, par Claude CADOZ, Annie LUCIANI et Jean-Loup FLORENS. Voir aussi l'article portant ce nom dans cet ouvrage.

Enfin, il y a une vertu de prédictibilité propre à la simulation, ou à la physique algorithmique si celle-ci peut s'instaurer, dont il convient de montrer l'irréductibilité à tout modèle mathématique et qui est si fondamentale qu'elle qu'elle est à même, comme le souligne Atlan¹ de modifier les termes de l'éternelle querelle du déterministe récemment ravivée par les "nouvelles alliances", "théories du chaos" et autres "théories des catastrophes"². Citons la réflexion d'Atlan :

*" Parmi les expériences que nous pouvons faire aujourd'hui du déterminisme et de l'aléatoire, il en est une particulièrement intéressante en ce qu'elle est relativement récente et qu'elle illustre au plus près la réalité de cette contradiction (...). Il s'agit des expériences de simulation par ordinateur où deux aspects sont particulièrement frappants. L'un est la fabrication de suites aléatoires à l'aide de programmes utilisant des algorithmes parfaitement déterministes. L'ordinateur génère une suite de chiffres telle que divers tests ne peuvent trouver aucune corrélation entre eux et que la suite obéit ainsi à tous les critères permettant de la considérer comme aléatoire et imprédictible. Or, il se trouve que l'ordinateur fonctionne suivant un programme déterministe tel que, connaissant les conditions initiales, la suite peut être parfaitement déterminée et prédite (...mais par aucun autre moyen qu'en faisant exécuter ce programme par l'ordinateur - il n'existe pas d'algorithme plus court pour réaliser cette suite) (...) Le caractère aléatoire ou déterministe dépend bien évidemment du lieu où se place l'observateur pour en juger : déterministe s'il observe l'algorithme au niveau de son fonctionnement ; aléatoire s'il observe la série produite et y applique des tests d'autocorrélation et de prédictibilité susceptibles d'y découvrir un ordre. "*³.

Dans cette formulation, la *série de nombres* figure pour ce nous appelons ici le phénomène, un phénomène dans une forme spécifique de représentation. Les *tests d'autocorrélation* et plus généralement de *prédictibilité* figurent pour tout ce qui peut être tentative de prédire par un autre moyen que l'exécution effective de l'algorithme. Ainsi, le physicien peut-il avoir un modèle parfaitement déterministe de son objet, traduit sans aucune perte dans un algorithme, si, de cette manière, il tient alors toute l'information, toute la substance de son objet entre ses mains, peut-on dire, il n'aura aucune autre façon exacte et complète d'y accéder que celle de faire exécuter l'algorithme, de faire se manifester le phénomène. Et enfin, le physicien, bien qu'il s'en défende parfois farouchement est nécessairement, inévitablement, mais nous y reviendrons plus loin quand nous aurons donné un certain sens à ce terme ... artiste.

¹ Henry ATLAN : "Postulats métaphysiques et méthodes de recherche", in "La querelle du déterminisme", collectif, Paris, Gallimard, 1990.

² op.cit., et aussi :

Ilia PRIGOGINE et Isabelle STENGER, "La Nouvelle Alliance", Paris, Gallimard, 1979

René THOM, "Modèle mathématique de la morphogénèse", Paris, Bourgois, 1980

Ivar EKELAND, "Le Calcul, l'Imprévu. Les figures du temps de Kepler à Thom", Paris, Ed. du Seuil, 1984

³ op.cit.

III - LA SIMULATION DE L'ARTISTE

Tout d'abord, pensera-t-on, les artistes ne sont des "simulateurs" que dans ce cadre très spécifique et encore suspect de l'informatique, de l'informatique musicale, de l'image de synthèse, l'image animée par ordinateur etc. Et, même dans ce cadre, tout le monde ne simule pas et quand la simulation intervient, ce n'est qu'au niveau de la création de matériaux, formes et phénomènes élémentaires qui entrent dans la composition de structures plus complexes élaborées selon d'autres paradigmes.

Certes ! Et pourtant, quand, au moment d'introduire la simulation, on a tenté de formuler ce qui la caractérise, on a dit qu'elle était une forme de représentation résolument attachée au niveau phénoménologique. Peut-on donner une caractérisation différente de la création artistique en général ? Y-a-t-il une façon plus précise d'introduire ce qu'il y a de commun à toutes les démarches de création artistique que de dire qu'elles visent, par tous les moyens possibles, à créer des objets dont la seule valeur finale se présente à nous par l'expérience sensible ?

Toute affirmation a ses butées, mais il y a toujours dans ses résonnances quelque effet heuristique. C'est alors le moment ici de jouer cette petite percussion : *la création artistique en général relève de la simulation* ; et s'il est une chose qui la distingue en premier lieu de la simulation du physicien, c'est qu'en un certain sens, elle est plus exigeante parce qu'elle ne souffre précisément aucune médiation entre le phénomène et sa perception. Pour la création artistique, le sensible, le perçu, sont ultime nécessité ; le son entendu en musique, la couleur, la lumière, la forme vues, le volume pétri en peinture, en sculpture...

Pour la création artistique, le perçu et le vécu sont ultime nécessité parce que c'est par le perçu et le vécu que s'opère la *compréhension artistique*. Plus exactement, le perçu, la perception *sont* cette compréhension, c'est-à-dire qu'ils ne sont pas seulement des intermédiaires, les moyens d'une saisie informationnelle pour aller vers des niveaux internes de la représentation mentale, mais, indissociables de ces derniers, ils sont des constituants de cette représentation. Et si, dans une démarche où, pour connaître et représenter la réduction est une nécessité, son opposé dialectique l'est tout autant. Dans la compréhension artistique, il y a ce nécessaire et complémentaire retour au caractère ontologique infini de l'homme lui-même et en particulier de ses sens.

C'est une des raisons de l'impossibilité pour la science de vivre sans l'art et pour l'art de vivre sans la science.

La nécessité des sens dans la compréhension artistique est du même ordre que l'irréductibilité de la simulation comme ultime moyen de connaître, dans l'exemple emprunté à H. Atlan plus haut. Inversement, le physicien n'acquiert-il pas une réelle compréhension du phénomène qu'il étudie, peut-être la plus ultime qu'il n'obtienne jamais, même s'il s'en défend par une attitude qui relève quasiment du dépit amoureux vis-à-vis de sa discipline, lorsqu'il réussit à s'en fabriquer une simulation... visible, sensible, sensorielle... sensuelle !?

Mais revenons à plus de mesure.

La création artistique est une simulation dans ce premier sens de l'ultime nécessité du perçu. Mais elle est aussi une simulation dans la démarche et dans ses conditions : de la même manière qu'une simulation physicienne, aussi exigeante et rigoureuse soit-elle, recourt à une compromission articulée entre processus fonctionnels, structurels, phénoménologiques etc., dans la création artistique, tous les moyens sont bons (ce qui ne veut pas dire qu'utiliser n'importe quel moyen pour faire n'importe quoi soit bon !) pour arriver à un résultat précis au niveau du phénomène sensible final. La création artistique s'autorise en permanence un jeu entre la règle et son débordement, entre le naturel et le collage, entre la référence et l'artifice. C'est l'exact équivalent de l'irréductibilité de ce que nous avons plus haut appelé le "mur phénoménologique".

On objectera qu'il ne s'agit là que de circonstances propres à la création du matériau, de la microstructure et que la composition, l'organisation en structures complexes, en architectures élaborées n'a rien à réclamer à la simulation.

A la simulation des objets physiques non ! mais s'agissant d'objets d'un autre ordre, la démarche fondamentale reste la même : la règle compositionnelle est un modèle, son application, par le compositeur ou par un algorithme relèvent, comme la simulation, du développement d'un potentiel structurel en une réalisation événementielle. Et comme dans la simulation, la règle bien définie cohabite avec des événements, des articulations, des associations contingentes, c'est-à-dire nécessaires mais dont la logique n'est pas accessible, explicite au moment où elle agit (ce qui n'exclut pas qu'une analyse ultérieure ne la révélerait pas).

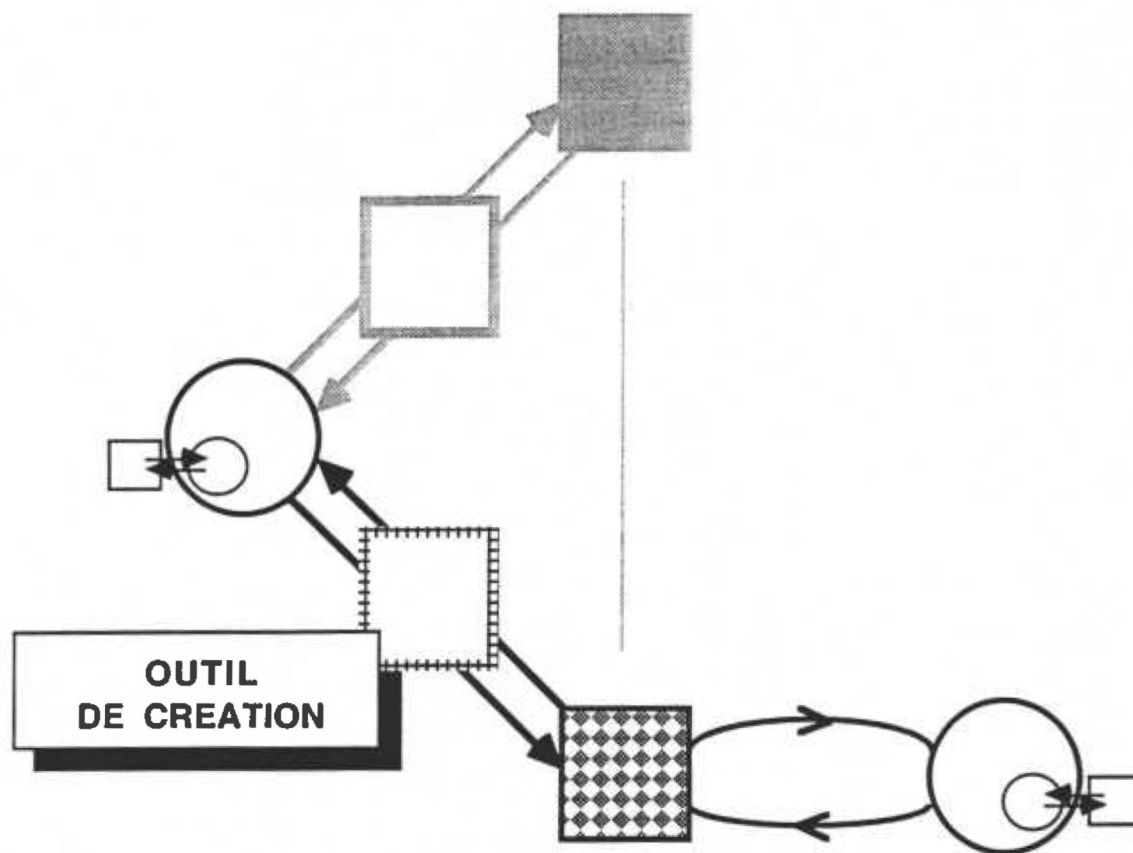
Mais s'il y a une aussi forte proximité entre l'artiste et le scientifique, il faut qu'il y ait aussi une différence.

Il y avait déjà celle de l'attitude vis-à-vis du perçu. Il y en a une plus radicale : la création de l'artiste commence où la démarche du scientifique s'arrête, c'est à dire à l'endroit précis où le simulacre ne correspond plus à rien qui existe préalablement. *L'artiste simule des objets qui n'existent pas* et en cela réside l'acte même de création, le seul qui nous soit autorisé, à nous autres humains, infinis dans notre être, probablement, mais finis dans nos actes.

L'artiste représente des objets qui n'existent pas. Le scientifique, le physicien, puis à leur suite l'ingénieur / entrepreneur usent de la représentation pour connaître la réalité et construire le monde des ressources et des moyens matériels de l'existence. Ils passent eux-aussi par des stades où ce qu'ils représentent n'existent pas encore, mais au moins, c'est pour ensuite concrétiser ces représentations en des objets et des dispositifs réels et utiles.

Si l'artiste simule, c'est bel et bien pour connaître également, et à terme, transformer. Il emprunte simplement un autre chemin : représenter un objet qui n'existe pas et provoquer ce faisant le sentiment essentiel de sa nécessité (que l'on appelle parfois la beauté, mais voilà un terme bien pauvre !), c'est convaincre de sa réalité... future, c'est-à-dire convaincre, avant même de connaître le chemin, de s'engager dans sa réalisation. La représentation artistique est plus qu'une prévision, c'est un engagement à faire coïncider le futur avec ce que l'on peut d'ores et déjà souhaiter qu'il soit, c'est faire souhaiter qu'il soit quelque chose.

Avant d'en finir, et pour céder une dernière fois à la logique graphique de nos schémas, on peut figurer, sans plus de commentaires, ce qu'est alors un "outil pour la création artistique" :



Quant à l'ordinateur,

Il radicalise le principe de la simulation et le rend essentiel dans le champ de la représentation scientifique.

Dans le champ de la création artistique il se passe également quelque chose de radical : l'ordinateur nous a permis d'accéder à l'objet d'une quête déjà ancienne : celle de pouvoir représenter les choses non seulement par le verbe, l'image, la forme rigide, ou même la forme articulée, l'image ou le son animés, mais avec leur intérieur, celui qui fait qu'elles apparaissent à nos sens, tout en ayant leurs comportements et leurs façons sous nos actions et nos sollicitations. La simulation par ordinateur pourrait être un nouvel art : un art dans lequel la représentation est plus totale, pas seulement visuelle, audio, et encore moins audiovisuelle, mais... "substantielle".